

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

Iva Komesar



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

Smjer: dizajn grafičkih proizvoda

ZAVRŠNI RAD

TONSKO MAPIRANJE RAW DIGITALNIH ZAPISA FOTOTGRAFSKE SLIKE

Mentor:
doc. dr. sc. Miroslav Mikota

Student:
Iva Komesar

Zagreb, 2016

Sažetak

Standardno snimanje digitalnim fotografskim aparatom rezultira 8 bitnim zapisom za plavi, zeleni i crveni kanal što odgovara i standardnom JPEG zapisu fotografske slike koji je u daljnoj fazi digitalnog fotografskog sustava obradiv i u konačnici reproducibilan, tj. ostvarljiv. Koristeći različite tehnike realizacije, potencijalno, rezultira razlučivanjem 16,8 milijuna boja što, idejno, odgovara ljudskom viđenju. Međutim, potencijalna scena sadrži bitno veći raspon tonova i boja, odnosno, njezin je dinamički raspon višestruko veći, što je fotografski moguće zabilježiti korištenjem tehnika HDR fotografije. Ipak, HDR fotografija nije pogodna za sve fotografske objekte i motive te se kao alternativa nameće korištenje punog dinamičkog raspona senzora digitalnog fotografskog aparata tj. snimanja u sirovom (RAW) formatu. U promatranom slučaju snimanje rezultira 14 bitnim zapisom po kanalu koji predstavlja pseudo HDR zapis. Međutim, tako dobiveni zapis nije reproducibilan te se prije realizacije treba provesti mapiranje tonova u 8-bitni zapis za što danas postoji niz različitih softverskih rješenja koja se teoretski i eksperimentalno analiziraju u ovom radu. Kako bi se provela objektivna usporedba fotografija dobivenih snimanjem u RAW formatu i različitim mapiranjima tonova, korišten je i testiran model usporedbe izlaznih histograma fotografije.

Ključne riječi: JPEG, RAW, HDR, tonsko mapiranje, histogram

Abstract

Standard image recording with a digital photo camera results with 8-bit image data for blue, green and red channels which correspond to a standard JPEG photographic images that are processable in a further stage of digital photography system and ultimately reproducible, i.e. they are achievable. Using different realization techniques potentially results with resolutions of 16,8 million colors which, ideally, matches the human vision. However, a potential scene contains a substantially wider range of tones and colors, i.e., its dynamic range is several times bigger, which is possible to capture by using HDR imaging techniques. Nevertheless, HDR photography is not suitable for all photographic objects and motives so as an alternative it imposes the use of full dynamic range of digital camera's sensor, i.e. shooting in RAW format. In the observed case, the recording results with 14-bit per channel which represents the pseudo HDR image. However, thusly obtained image data is not reproducible and before realization requires for tone mapping to be done into 8-bit data for which there is a range of different software solutions today that are theoretically and experimentally analyzed in the paper. To objectively compare photographs made by using RAW format and different tone mappings, model for comparing output histograms of photographs has been used and tested.

Key words: JPEG, RAW, HDR, tone mapping, histogram

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO.....	3
2.1 Vrste digitalnog zapisa fotografije	3
2.1.1 JPEG	3
2.1.2 RAW	5
2.1.2.1 NEF	6
2.1.3 Usporedba JPEG i RAW formata	7
2.2 Senzor fotografskog aparata	9
2.2.1 CCD i APS senzor	11
2.2.2 Pikseli na senzoru.....	12
2.2.3 Dinamički rapon senzora	13
2.2.4 Šum senzora.....	15
2.3 Dinamički raspon scene	18
2.4 Tonsko mapiranje.....	20
2.4.1 HDR fotografija	20
2.4.2 Predobrada sirovog digitalnog zapisa.....	22
2.4.2.1 Softver proizvođača digitalnog fotoaparata	24
2.4.2.2 Adobe Photoshop i Adobe Camera Raw	25
2.4.3 Tonsko mapiranje u softverima za izradu hdr-a.....	26
2.4.3.1 Photomatix Pro	27
2.4.3.2 Aurora HDR Pro.....	28
2.4.3.3 Dynamic Photo HDR.....	30
2.4.3.4 FDRTools.....	30
2.4.3.5 Fotoroom HDR (Artizen HDR)	31
2.4.4 Snimanje i mapiranje tonova jedne RAW fotografije (pseudo HDR)	32
2.5 Histogram digitalnog zapisa fotografske slike	35
3. PRAKTIČNI DIO	39
3.1 Korištena oprema	39
3.2 Proces snimanja i izrade fotografija	39

3.3 Odabir scene	40
3.4 Vizualna analiza JPEG i RAW zapisa	41
3.5 Autorske fotografije	42
4. REZULTATI I RASPRAVA.....	53
4.1 Vizualna procjena fotografija i usporedba korištenih softvera	53
4.2 Analiza histograma fotografija dobivenih tonskim mapiranjem	56
4.2.1 Photomatix Pro	56
4.2.2 Aurora HDR Pro.....	58
4.3 Softver za usporedbu histograma	59
5. ZAKLJUČAK.....	63
6. LITERATURA.....	65

1. UVOD

Snimanjem digitalnim fotografskim aparatom dobiva se standardni zapis fotografske slike JPEG (Joint Photographic Expert Group) koji omogućuje 8 bitni zapis za plavi, zeleni i crveni kanal te je u daljnjoj fazi digitalnog fotografskog sustava obradiv i reproducibilan različitim tehnikama realizacije. Ovakav zapis fotografske slike omogućuje razlučivanja 16,8 milijuna boja što, idejno, odgovara ljudskom viđenju čime podržava ikonički karakter fotografije kao medija i pojedinačne fotografske slike. [1] Međutim, scena koja se snima potencijalno sadrži bitno veći raspon tonova i boja, odnosno, njezin je dinamički raspon višestruko veći. Povećanje dinamičkog raspona fotografije je prvenstveno vezano uz tehnike HDR (High Dinamic Range) fotografije, tehnika kojima je moguće višestrukim snimanjem iste scene uz različite ekspozicije te stapanjem takvih fotografija u 32 bitni zapis s plutajućom referentnom točkom zabilježiti ukupni dinamički raspon scene. S obzirom da takav dinamički raspon fotografske slike nije reproducibilan, provodi se tonsko mapiranje tog zapisa u 8 bitni zapis uz mogućnost manipuliranja i odabira tonova odnosno tonskih područja koja će biti zstupljena odnosno prikazana na slici. Tonsko mapiranje je prenošenje, mapiranje jednog seta boja u drugi, a za taj process postoji niz različitih softvera – npr. Photomatix Pro, Aurora HDR Pro, HDR Darkroom [2, 3] i brojni drugi, od kojih će neki biti obrađeni teorijski i eksperimentano u ovome radu.

Međutim, snimanje HDR tehnikom nije moguće (npr. objekt u pokretu), a često niti potrebno (npr. kada se ukupni dinamički raspon može zabilježiti u 10, 12 ili 14 bitnom zapisu), kod pojedinih fotografskih motiva i scena. [2, 3, 4] U tim situacijama, kao alternative HDR fotografiji, nameće se korištenje punog dinamičkog raspona senzora digitalnog fotografskog aparata, a to je snimanje u RAW (sirovom) formatu. Sirovi zapis fotografske slike se prije daljnje obrade i reprodukcije treba predobraditi i translirati u 8 bitni zapis obradom u nekom univerzalnom softveru (npr. Photoshop) ili korištenjem softvera za tonsko mapiranje HDR zapisa što rezultira pseudo HDR fotografijom i autoru-fotografu

daje veću slobodu u odabiru tonova koje želi prikazati na konačnoj fotografskoj slici. [2, 3]

U praksi se pokazalo da odabir softvera za translatiranje odnosno mapiranje tonova bitno utječe na kvalitativne i deskriptivne karakteristike fotografske slike. U radu se analizira sirovi (RAW) i JPG zapisi iste scene, produkti tonskog mapiranja iste fotografije u različitim softverima za tonsko mapiranje HDR zapisa i različitim postavki unutar jednog softvera te objektivizirati te razlike usporedbom i kvantifikacijom razlika histograma zapisa temeljem primjene softvera razvijenog za kvantitativnu usporedbu histograma digitalnih zapisa fotografske slike.

2. TEORIJSKI DIO

2.1 Vrste digitalnog zapisa fotografije

Snimanjem digitalnim fotografskim aparatom se na senzoru fotografskog aparata formira slika koja se pohranjuje u digitalnom obliku na odgovarajuću memorijsku jedinicu („memorijske kartice“). Karakteristike digitalnog zapisa su, prvenstveno, određene samim senzorom, tj. njegovim karakteristikama. Jedna od osnovnih karakteristika senzora je dubina zapisa boja, što je dubina zapisa, izražena u bitovima (po kanalu) veća, veći je broj tonova i boja koji senzor može razlučiti. [1] Tako 10 bitni senzor razlučuje 2^{10} tonova po plavom, zelenom i crvenom kanalu što ukupno čini 1073741824 tonova (boja), 12 bitni 2^{12} tonova po kanalu što ukupno čini 68719476736 tonova (boja), 14 bitni 2^{14} tonova po kanalu što ukupno čini 4398046511104 tonova (boja). Kako bi se ovako formirana slika u potpunosti zapisala, digitalni fotografski aparati koriste tzv. sirovi (RAW) format. Iako sirovi zapis omogućuje zapis svih informacija koje nastaju eksponiranjem senzora digitalnog fotografskog aparata, u fotografskoj se praksi veći broj fotografija dobivenih snimanjem direktno pohranjuje u JPEG formatu koji je tipični predstavnik formata zapisa s kompresijom s gubitcima.

2.1.1 JPEG

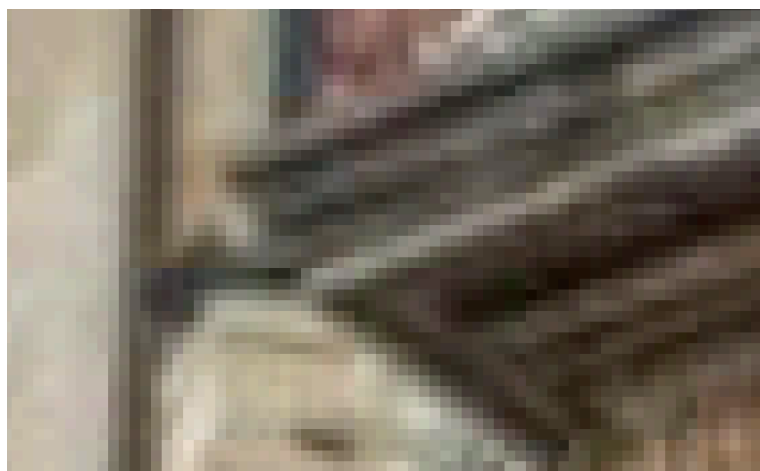
JPEG (eng. Joint Photographic Experts Group) format se najviše koristi u digitalnoj fotografiji i predstavlja standard za spremanja digitalnih datoteka (uglavnom slikovnih zapisa) s gubitkom prilikom kompresije (lossy compression). Razlog tome je dobra kompresija, koja omogućuje da se veličina slike smanji 10 do 20 puta bez vidljivog gubitka kvalitete. Gubitak kvalitete pri malim manipulacijama i kompresijama postaje tek uočljiv kada se uveća slika i usporedi s originalnom nekompresiranom (slika 1). Stupanj kompresije se može podešavati i direktno utječe na veličinu i kvalitetu datoteke. No, uvijek vrijedi, što je veća datoteka to je njen gubitak informacija (stupanj kompresije) manji.

Maksimalna veličina datoteke koja se može spremiti ovim formatom je 65535×65535 piksela. Koristi 24 bita po pikselu tj. preko 16 milijuna nijansi boja. Ne podržava transparentiju niti animaciju. [5]

Svi digitalni fotografski aparati imaju mogućnost spremanja slika u JPEG format. Prednost JPEG formata osim kompresije je u njegovoj raširenosti i kompatibilnosti s računalima, internetskim preglednicima, mobitelima, printerima i ostalim elektroničkim uređajima. JPEG je 8 bitni format, dakle ima 8 bita po kanalu i to je jedan od njegovih nedostataka. Senzori na digitalnim SLR fotoaparatima imaju mogućnost raspoznavanja tonova u 10, 12, i 14 bitova, ali te informacije se gube ako se spremne u 8 bitni JPEG format. Nedostatak JPEG formata osim toga je i kompresija zbog toga što u JPEG-u nisu spremljene originalne informacije sa senzora, nego kompresirane, dakle u JPEG-u nije spremljeno sve ono što senzor može zabilježiti.

Sam se proces JPEG kompresije provodi kroz tri faze:

1. diskretna kosinusna transformacija (DCT) – formiraju se karakteristični blokovi 8x8 P (Slika 1) – u ovoj fazi kompresije nema gubitka detalja,
2. preslagivanje podataka (kvantizacija) – definiranje veličine datoteke i gubitka kvalitete slike i
3. sažimanje i kodiranje rezultata preslagivanja podataka.

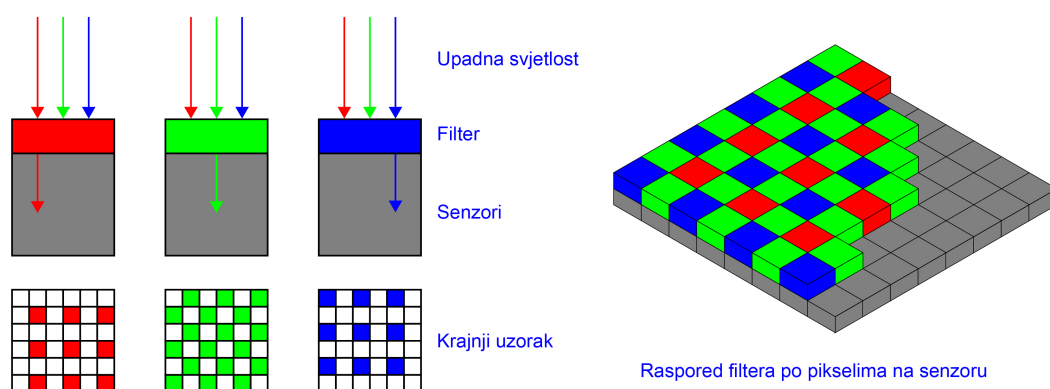


Slika 1: JPEG zapis fotografske slike (povećanje)

2.1.2 RAW

RAW (engl. sirov) se odnosi na tip datoteke koje prije pregledavanja treba dodatno konvertirati u neki od standardnih formata (JPEG ili TIFF). Naziva se još i digitalnim negativom. RAW zapis sadrži sve informacije koje senzor prilikom ekspozicije snimi, bez kompresije ili smanjivanja. Daje mogućnost potpunog mijenjanja svih parametara fotografije od bijelog balansa boje, kontrasta, korekcije oštine, spašavanja preekspoziranih dijelova te podešavanja šuma i ekspozicije. S obzirom na količinu informacija koje sprema, RAW zapis je znatno veći od JPEG formata. Može doseći i nekoliko desetaka megabajta. [6]

RAW format nastaje tako što senzor fotoaparata skuplja svjetlost koja kroz objektiv pada na njegovu površinu. Tijekom upada, svjetlo prolazi kroz Bayerove filtere koji fotone raspoređuju po RGB sustavu na određene piksele na senzoru. Svakom pikselu, koji je u 8x8 bloku, se pridjeljuju njemu određene informacije o tonu i boji. Cijeli postupak je prikazan na slici 2.



Slika 2: Bayerov postupak filtriranja svjetlosti i konverzije

Kako RAW nije zapravo format, tj. računalni standard, potrebno je provesti konverziju u računalu prepoznatljivom format. Najčešće se konvertira JPEG ili TIFF iako je uporaba ovog drugog znatno opala proteklih godina jer je njegov zapis neznatno manji od samog RAW zapisa, a i JPEG format se znatno unaprijedio što se tiče negubljenja informacija i očuvanja kvalitete. Konverzija

RAW formata se obavlja pomoću određenih programa namijenjenih za to (više o tom postupku u nastavku rada). RAW ne predstavlja jedinstveni format, već skupinu različitih formata zapisa (tablica 1).

Tablica 1: Različiti formati RAW digitalnog zapisa fotografske slike

RAW ZAPIS	PROIZVOĐAČ FOTOGRAFSKOG APARATA
crw	Canon
nef	Nikon
mrw	Minolta
ptx	Pentax
raf	Fuji
orf	Olympus
dng	Adobe, Leica, Hasselblad

2.1.2.1 NEF

NEF (Nikon Electronic Format) zapis je vrsta RAW zapisa i isključivo se koristi u Nikonovim uređajima za zapis slike. Svaki veliki proizvođač digitalnih fotografskih aparata ima svoj format zapisa RAW datoteke (tablica 1). Canon npr. ima CRW stoga bi bila neophodna standardizacija. No do toga, zasada bar, neće uskoro doći budući da svaka tvrtka insistira na svom obliku RAW zapisa pri proizvodnji digitalnih zapisnika. (Camera Image File Format), Olympus ima ORF (Olympus RAW Format), Minolta ima MDC, Kodak ima DSC, pa čak i neke softverske tvrtke imaju svoje RAW zapise kao na primjer; Adobe (DNG) ili Samsung (SRW). Podrazumijeva se da ovo mnoštvo stvara velike probleme za software developere, ali i korisnike. [7]

2.1.3 Usporedba JPEG i RAW formata

Prednost RAW formata je u tome što je “sirov” i što omogućava naknadnu i kvalitetniju korekciju većeg broja parametara kao i kvalitetniji krajnji rezultat od običnog JPEG formata. Još jedna važna prednost RAW formata je što nema kompresije, sve informacije zapisane na samom senzoru prilikom ekspozicije se nalaze u datoteci dok se kod JPEG-a kvaliteta smanjuje sa svakom idućom izmjenom. U direktnoj usporedbi, JPEG ima 8 bita po pikselu s 256 mogućih vrijednosti za svaku RGB komponentu, dok RAW ima minimalno 12 bita po pikselu s 4069 odnosno 16384 kod 18 bita mogućih vrijednosti za svaki kanal (RGB).

Najveći nedostatak RAW formata je njegova veličina i format koji zahtijeva za njegovo spremanje (tablica 2). Jedan RAW format zauzima prosječno 3 do 5 puta više prostora od JPEG formata. Također, značajan problem RAW zapisa je nedostatak standardizacije kao što je već bilo navedeno dok JPEG formati za zapis digitalne slike imaju samo dvije ekstenzije; JPEG ili JPG. [8]

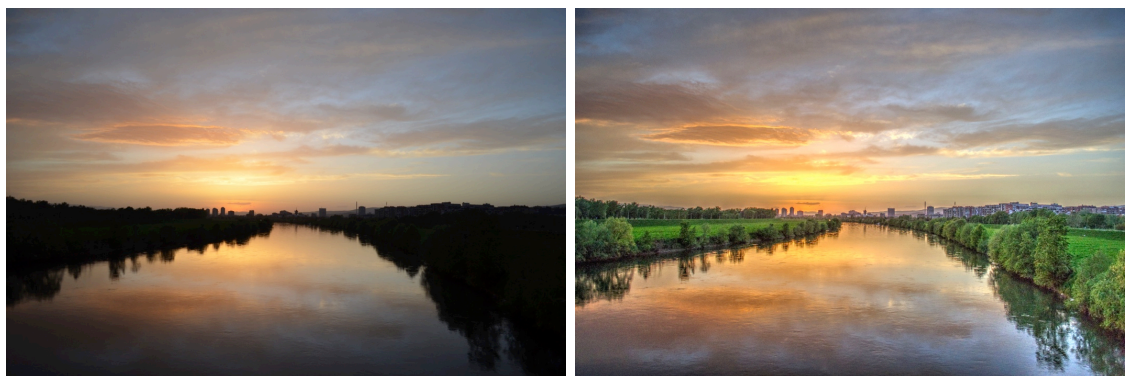
Uz te nedostatke, prednosti RAW-a nad JPEG-om su ipak puno veće. No iako je RAW zapis superiorni, ne znači da se on nužno mora koristiti u svakom slučaju fotografiranja.

Tablica 2: Usporedba JPEG i RAW zapisa fotografske slike

Format zapisa i stupanj kompresije	Rezolucija (MP)	Maksimalni format ispisa	Veličina datoteke (MB)	Maksimalni broj snimaka u kontinuitetu
JPEG F	12,7	Preko A3	4,6	101
JPEG N	12,7	Preko A3	2,3	196
JPEG F	6,7	A4-A3	2,7	168
JPEG N	6,7	A4-A3	1,4	319
JPEG F	4,2	A4	2,0	233
JPEG N	4,2	A4	1,0	446
RAW	12,7	Preko A3	12,9	29

Većina modernih DSLR (digital single-lens reflex) fotoaparata daje mogućnost zapisa slike u jednom i u drugom formatu pa čak i usporedno. Na korisniku je da odabere željeni format. [9]

Ako se radi o osobi koja snima u brzim i pokretnim situacijama gdje se stalno mijenja osvjetljenje, scena i pozadina, bolje je odabrati RAW format. U takvim slučajevima RAW je idealan budući da je teško uhvatiti perfektnu ekspoziciju pri svakom okidanju, a RAW zapis daje veću mogućnost ispravljanja ekspozicijskih pogreški. Ako je motiv koji se snima priroda, krajolik ili bilo koja scena koja ima visok dinamički raspon, RAW bi bio idealan odabir (slika 3). Daje mogućnost naknadne obrade tamnih i svjetlijih tonova kako bi krajnji proizvod bio savršeno tonski mapiran (slika 4).



Slika 3: Usporedba: originalni JPG zapis slike i tonski mapiran RAW zapis istog krajolika (scene s visokim dinamičkim rasponom)

Ako se snimljena fotografija odmah mora prezentirati, najjednostavnija opcija je snimiti samo JPEG format. No, ako se ista fotografija onda naknadno planira obrađivati, može biti najpogodnije snimati oba formata u isto vrijeme. Fotografije koje će se koristiti na web ili mobilnim platformama nužno ne moraju biti velike kvalitete budući da im veličina rijetko kad preraste 500 piksela pa se za njih prije koriste JPEG formati zapisa nego RAW.

Zanimljiva je razlike ova dva formata pri snimanju ekstremnih sportova ili sličnih motiva gdje se koriste tehnike slika u slijedu (više desetaka slika koji su snimani kao kadrovi za video zapis). Dolazi do prenaprezanja i prebrzog punjenja međuspremnik fotografskog aparata. Međuspremnik (buffer) je privremena

memorija koja spašava informacije prije nego što ih fotografski aparat zapiše u obliku formata. Međuspremnik unapređuje brzinu okidanja i omogućava neprestano snimanje fotografija za redom. Kako je RAW dosta velik format, međuspremnik može postati preopterećen količinom zaprimljenih informacija ako se u slijedu snimaju RAW formati. Posljedica toga je da međuspremnik prestaje zaprimati informacije, tijekom zapisa je prekinut i nekoliko okidanja preskače primanje informacija dok se pufer ponovo je isprazni. Najbolja opcija za ovakvu vrstu fotografije je JPEG. Dovoljno je mali dohodak informacija da se međuspremnik neće prepuniti, a slike će sve biti za redom spremljene. [10]



Slika 4: RAW format dopušta naknadne izmjene mnogih osnovnih parametara bitnih pri snimanju fotografije – jedan od njih je ekspozicija.

2.2 Senzor fotografskog aparata

Senzori su uređaji koji se sastoje od mreže piksela koji reagiraju na svjetlost i pretvaraju fotone svjetlosti u električnu energiju koja se pretvara u napon koji se pojačava u pojačalu, i koji se zatim pretvara u digitalnu vrijednost pomoću A/D pretvarača. Mogu se podijeliti na više načina, prema tipu senzora, prema broju piksela koje sadrže i po veličini senzora.

Podjela senzora prema broju piksela bitna je samo ako je taj broj piksela važan zbog formata ispisa kod daljnjeg reproduciranja fotografija jer danas broj piksela dolazi do izražaja tek kod ispisa fotografija na veće formate budući da se više ni

ne može naći fotografski aparat s brojem piksela manjim od npr. 2 megapiksela što je dovoljno za ispis rezolucije 300 dpi na standardni 10x15 format.

Senzori se po veličini mogu najprije podijeliti na senzore za kompaktne fotoaparate, na senzore za digitalne SLR fotoaparate, i na senzore za fotoaparate srednjih formata, a nakon toga se ta podjela komplicira jer postoji mnogo različitih veličina senzora, osobito kod kompaktnih fotoaparata. Bitno je samo istaknuti razliku između senzora za SLR fotoaparate i kompaktne fotoaparate. Kompaktni fotoaparati imaju senzore veličine od otprilike 2-7% veličine 35mm filma, dok DSLR fotoaparati imaju senzore veličine 25 – 100% veličine 35mm filma. SLR senzori se također prema veličini mogu podijeliti na one Leica (veličina 35 mm filma) i približno Leica formata (slika 5)



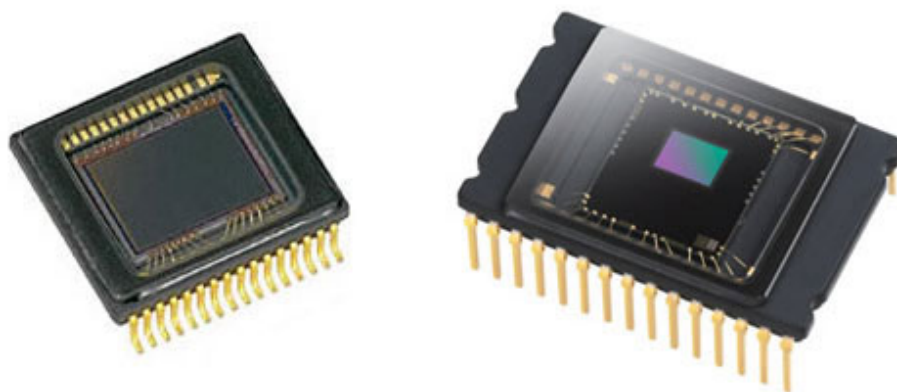
Slika 5: Nikon DSLR fotoaparati sa senzorom približno Leica i Leica formata

Razlika veličine senzora između digitalnih kompaktnih i SLR fotoaparata je jedan od glavnih razloga bolje kvalitete slike kod SLR fotoaparata jer veći senzor znači i bolju kvalitetu piksela, bolju kvalitetu kod manjih osjetljivosti i mogućnost manipulacije dubinskom oštrinom budući da na veći piksel stiže i više fotona svjetlosti, što rezultira jačim el. signalom i većim signal-šum omjerom. Naravno, tehnologija se svakim danom razvija, senzori i pikseli se izrađuju od sve kvalitetnijih materijala i dijelova, i neki noviji senzori za kompaktne fotoaparate mogu biti bolji od jučerašnjih SLR senzora. Ali, općenito

gledajući, SLR senzori imaju veliku prednost nad senzorima za kompaktne fotoaparate, osim naravno, u veličini. [11].

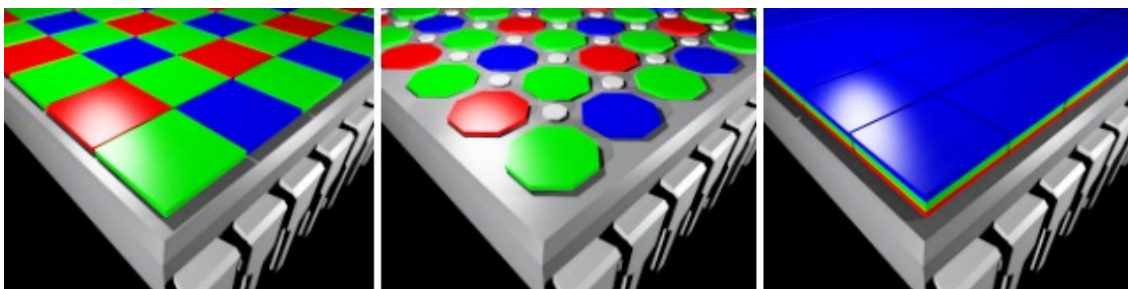
2.2.1 CCD i APS senzor

Prema tipu, senzori se dijele na CCD i APS senzore (slika 6). Glavna razlika je što CCD (Charge-Coupled Device) senzori imaju pojačalo i A/D pretvarač izvan samih piksela, a APS (Active Pixel Sensors) senzori imaju ugrađeno pojačalo i A/D pretvarač na svakom pikselu. Osim standardnih CCD senzora, postoje i SuperCCD senzori koje je razvio Fujifilm, a čija glavna karakteristika je ta da imaju piksele u obliku osmerokuta, što omogućuje manju udaljenost između pojedinih piksela.



Slika 6: CCD i APS (CMOS) senzor

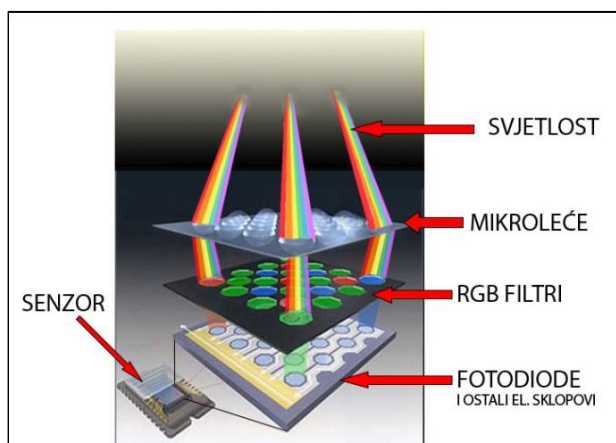
U APS senzore spadaju standardni CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) senzori, Nikonovi JFET LBCAST (Junction Field Effect Transistor, Lateral Buried Charge Accumulator and Sensing Transistor array) senzori koji između ostaloga umjesto CMOS tranzistora koriste JFET tranzistore. Posebno se mogu razmatrati Foveon X3 senzori, koji imaju piksele raspoređene u tri sloja, za crveni, zeleni i plavi dio spektra te ne koriste Bayerovu mrežu filtera. Na slici 7 su prikazane neke izvedbe senzora digitalnih fotografskih aparata.



Slika 7: Tri tipa senzora : 1. Bayer mozaik 2. Super CCD 3. Foveon senzor

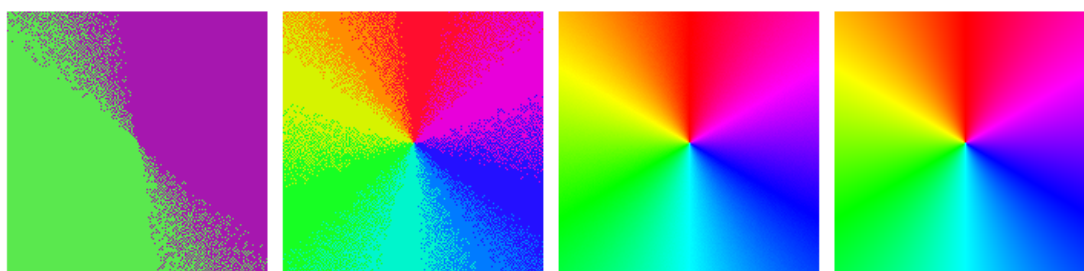
2.2.2 Pikseli na senzoru

Pikseli su temeljni elementi digitalne fotografije, kao što im i sam naziv govori (Pix El - eng. picture element, element slike). Oni su “atomi” digitalne fotografije, od njih je napravljena svaka digitalna fotografija. Pikselima se nazivaju i elementi na svakom senzoru koji su osjetljivi na fotone svjetlosti. Ti, senzorski pikseli sastoje se od više dijelova. Najvažniji dijelovi su mikroleća, koja usmjerava svjetlost na fotodiodu, što je potrebno zbog toga što fotodioda ne zauzima cijelu površinu piksela. Zatim, piksel se sastoji od crvenog, zelenog ili plavog filtra (kod Bayerovog uzorka), koji propušta samo određeni dio vidljivog spektra do fotodiode koja je monokromatska, osjetljiva samo na intenzitet svjetlosti, a ne na određenu valnu duljinu svjetlosti. Naravno, piksel se sastoji od fotodiode, koja pretvara svjetlost u električni signal. U slučaju CMOS senzora svaki piksel na sebi ima i pojačalo i A/D pretvarač. Na slici 8 prikazan je osnovni princip rada senzora i piksela. [11]



Slika 8: Osnovni princip rada senzora i piksela

Dubina piksela označava dinamički raspon boja, odnosno broj bita po svakom pikselu. Što je dubina piksela veća, moguće je prikazati više različitih nijansi boja. (slika 9.)

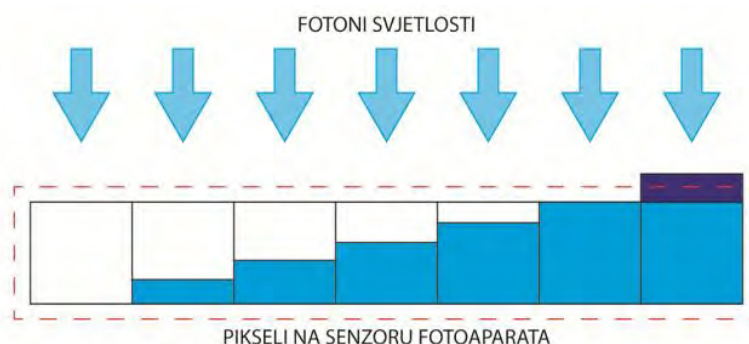


Slika 9: 1-bitna slika (max. 2 boje), 4-bitna slika (max. 16 boja), 8-bitna slika (max. 256 boja) i 24-bitna slika (max. 16.777.216 boja)

2.2.3 Dinamički raspon senzora

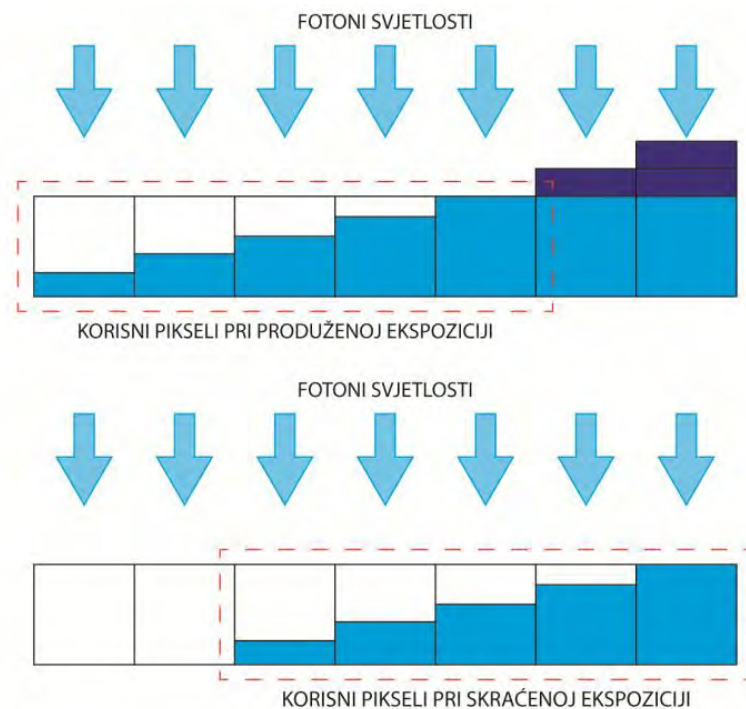
Kod digitalnih fotografskih aparata, odnosno kod senzora, dinamički raspon predstavlja omjer između najvećeg signala koji senzor, odnosno piksel na senzoru može generirati, i omjer između najmanjeg signala kojeg može generirati. Veličina piksela ima veliku ulogu u ukupnom dinamičkom rasponu koji senzor može prepoznati. Što je piksel veći, može primiti više fotona svjetlosti i to omogućuje bilježenje većeg dinamičkog raspona budući da više

fotona može stati u piksel prije nego što se on napuni. Jednom pun piksel bilježiti će maksimalan signal, te fotoni koji će dolaziti do njega više neće moći biti zabilježeni (zadnja dva piksela na slici generirati će jednak, maksimalan signal (slika 10). Također i oni fotoni koji dolaze iz tamnijih područja scene imaju više vremena da ostanu zabilježeni na senzoru prije nego što se oni pikseli koji sakupljaju fotone svjetlijih područja scene napune. [12] Exposure Value ili EV je broj koji opisuje osvjetljenje scene kroz ekspoziciju, mijenjajući vrijeme snimanja i otvor objektiva. Što je EV broj veći, to je osvjetljenje scene veće. Kvantificiranje dinamičkog raspona je problematično, jer ne postoji službeni standard koji ga točno opisuje i svaki fotografski aparat različitog proizvođača ima drugačije karakteristike senzora.



Slika 10: Punjenje piksela na senzoru fotografskog aparata.

Kada se piksel potpuno napuni fotonima svjetlosti, on će generirati maksimalan signal, na slici će biti potpuno bijel i svi fotoni koji i dalje dolaze do tog piksela neće biti zabilježeni pa će doći do gubitka detalja u tim dijelovima fotografije. Oni pikseli na senzoru kod kojih nisu stigli fotoni na fotografiji će biti potpuno crni. Kako bi se senzorom moglo zabilježiti fotone iz tamnijih i svjetlijih područja scene, potrebno je prilagoditi vrijeme ekspozicije tim uvjetima (slika 11).



Slika 11: Punjenje piksela senzora fotonima svjetlosti kod produžene i skraćene ekspozicije kako bi se sačuvali detalji u tamnijim i svjetlijim dijelovima scene.

2.2.4 Šum senzora

U digitalnim optičkim sustavima šum je definiran kao neželjeni nasumični signal. Takav nepoželjni signal se miješa s korisnim signalom i utječe na njegovu kvalitetu. Može nastati bez djelovanja svjetla, a može biti i posljedica ekspozicije. Kod digitalnih optičkih senzora postoji više izvora šuma.

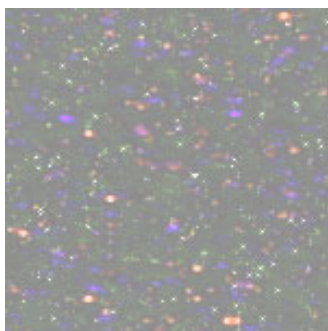
Termički šum, tj. “tamna struja”, ovisi o temperaturi i u praksi se udvostručuje pri povišenju temperature za 10 celzijusovih stupnjeva. Kod senzora u znanstvenim uređajima termički šum uklanjaju hlađenjem. U njima senzori u pravilu rade na temperaturama od -60°C . U digitalnim fotografskim aparatima nije moguće primijeniti takav oblik hlađenja te proizvođači koriste manje efikasan sustav. Po rubu se čipa nalaze pikseli zaštićeni od upada svjetla. Oni služe za očitavanje referentne vrijednosti šuma tj. trebali bi dati podatak o iznosu tamne struje u vrijeme ekspozicije. Tako izmjerena tamna struja oduzima se od

ukupno izmjerenog signala i u teoriji daje sliku bez šuma. Kada bi ovaj pristup u potpunosti funkcionirao, digitalna bi slika bila puno kvalitetnija. No šum se kao funkcija vremena ne mijenja isto za sve piksele, tako da je ovako jednostavan sustav daleko od savršenstva te uklanja samo dio tamnog šuma. Proizvođači ove kontrolne piksele također deklariraju kao dio senzora ne spominjući pri tome da oni ne sudjeluju u stvaranju slike. Tako je fotoaktivna površina uvijek manja od ukupne površine senzora.



Slika 12: Termički šum

Drugi izvor šuma je tzv. stalni uzorak (*fixed pattern noise*). Zbog neravnomjernog rasporeda nečistoća i nehomogenosti poluvodičkog kristala iz kojeg je izrađen senzor njegova struktura sadrži određenu neodređenost, neefikasnost i nepreciznost. Stoga nisu svi pikseli jednako osjetljivi na svjetlo te tako nastaju područja manje i veće osjetljivosti na istom čipu. Pikseli i razmaci među njima nisu jednake veličine, pa svaki piksel u principu daje pomalo različit signal za isti ulazni nivo svjetla. Ako se na čipu nalazi piksel koji je izrazito manje osjetljiv od prosječne osjetljivosti senzora, on će se na slici manifestirati kao tamna točkica. Takvi su pikseli dobili naziv mrtvi pikseli. Ako se na čipu nalazi piksel koji je izrazito osjetljiviji od prosječne osjetljivosti senzora, on će se na slici manifestirati kao svjetla točkica (slika 13). Takvi su pikseli dobili naziv vrući pikseli (*hot pixel*). Što je ekspozicija duža, ovaj tip šuma je izraženiji. Neki proizvođači ugrađuju kompenzaciju elektroničkim putem. Za one uređaje koji nemaju kompenzaciju, korisnik se može pobrinuti i sam, tako da snimi stalni uzorak (pri istim uvjetima koje je koristio kod snimanja) i kasnije ga oduzme od slike.



Slika 13: Šum stalnog uzorka (fixed pattern noise)

Zadnji izvor šuma u digitalnim sustavima je šum elektronike, ponajviše pojačala. Nakon očitavanja naboja kojeg je generirao čip, signal treba pojačati na upotrebljivu vrijednost. Takvo pojačanje generira šum, slično kao i kod elektronike u audio sustavu. Čip ima samo jednu osjetljivost. Promjenom vrijednosti osjetljivosti samo se mijenja elektroničko pojačavanje signala koje pri tome unosi još više šuma. Tu se javlja još jedan problem. Elektronička pojačala ne mogu neograničeno pojačavati signal. Linearnost pojačala je ovisna o količini pojačanja, kako kod većeg pojačanja dolazi do nelinearnog odziva dolazi i do pomaka reprodukcije boje, najčešće se javlja jaki pomak k plavom djelu spektra. [13]



Slika 14: Šum pojačala

Kod preeksponiranih fotografija se zna pojaviti šum koji se u procesu stvaranja HDR fotografije naglašava (slika 14). Kako bi se izbjegao takav šum, potrebno je analizirati histograme i odabrati one slike koje neće smanjiti kvalitetu završne HDR fotografije. Također kod korištenih visokih osjetljivosti šum koji je nastao

zbog pojačavanja signala može biti naglašen još više nakon tonskog mapiranja jednog RAW zapisa u programima za izradu HDR fotografije. (slika 15)



Slika 15: Tonskim mapiranjem RAW zapisa u programu Photomatix naglašen je šum nastao prilikom fotografiranja na visokim ISO vrijednostima

2.3 Dinamički raspon scene

Dinamični raspon se odnosi na razliku osvjjetljenja između najsvjetlijeg i najtamnijeg dijela fotografije, dakle široki dinamički opseg znači da je razlika osvjjetljenja (luminancije) velika. Luminancija se mjeri u kandelima po metru kvadratnom, cd/m^2 (tablica 3). Luminancija zvjezdanog neba je oko 0.001 cd/m^2 , dok je luminancija sunčane scene otprilike $100\,000 \text{ cd/m}^2$, a luminancija samog Sunca je oko $1\,000\,000\,000 \text{ cd/m}^2$.

Tablica 3: Osvjetljenje različitih scena u prirodi

Vrsta osvjetljenja	Prosječno osvjetljenje (candela/m ²)
Sjaj zvijezde na nebu	0.001
Mjesečeva svjetlost	0.1
Unutrašnje osvjetljenje	50
Sunčano nebo	100,000

Prosječna fotografija snimana za vrijeme dnevnog svjetla ima dinamički raspon od 100 000:1 što znači da je najsvjetliji dio fotografije 100000 puta svjetliji od najtamnije sjene. Naravno nisu sve scene iste te ovise o količini svjetla, refleksijama, nebu, količini oblaka i sl. [14] Ljudsko oko od jedanput, odnosno kada se jednom zjenica oka prilagodi svjetlu koje dolazi do njega, može prepoznati dinamički raspon od 10 000:1. Sveukupni raspon koji ljudsko oko može prepoznati je puno veći, budući da ono može gledati i zvjezdano nebo, a i scenu osvjetljenu jakim podnevnim suncem, a to je omjer luminancija, odnosno dinamički raspon od 100 000 000:1 (tablica 4).

Tablica 4: Prikaz odnosa dinamičkih raspona

Vrsta prikaza	dinamički raspon	exposure value (EV)
Scena na otvorenom	1 000 000 : 1	17
Ljudsko oko	10 000 : 1	14
Fotografski aparat	2,000 : 1	11
Ekran	750 : 1	9,5
Ispis fotografije	250 : 1	8
Tisak	75 : 1	6

2.4 Tonsko mapiranje

Tonsko mapiranje je tehnika koja se koristi pri procesuiranju fotografija i u računalnoj grafici kako bi se jedan set boja mapirao (translatirao, uspješno prenio) u drugi, čime se želi aproksimirati prikaz HDR fotografija u mediju s više ograničenim dinamičkim rasponom, njegovom stvarnom izgledu odnosno doživljaju. Mediji poput računalnih monitora i otisaka imaju dinamički raspon koji je neadekvatan za pravilnu reprodukciju punog spektra svjetlosnih intenziteta prisutnih u 'stvarnim scenama'. Tonskim mapiranjem se može ublažiti probleme snažne redukcije kontrasta u određenim dijelovima reproducirane scene pri prikazu slike u određenom mediju, ali i istodobno očuvati što više detalja i raspona među tonovima važnih za originalan sadržaj fotografije i njen 'konačni' doživljaj.

2.4.1 HDR fotografija

Fotografija koja sadrži sve tonove koji su bili prisutni u snimanoj sceni naziva se HDR (*High Dynamic Range*) fotografijom, kako je ranije spomenuto. HDR zapis mora imati mogućnost praktički neograničenog zapisa tonova (i boja) što omogućuje tridesetdvobitni zapis koji ima tzv. plutajuću referentnu točku. Takva fotografija, iako tehnički ostvaruje maksimalnu ikoničnost, doživljajno djeluje nadrealno što se često, kao jednu od osnovnih karakteristika, pripisuje HDR fotografiji.

Osnovna ideja stvaranja HDR fotografije u digitalnom fotografskom sustavu je snimanje iste scene različitim ekspozicijama te spajanje različito eksponiranih digitalnih zapisa fotografske slike u jedan koji sadrži prikaz ukupnog raspona tonova scene. Temelj tome su postavili Gregory Ward 1985. godine definiranjem Radiance RGBE te Steve Mann i Rosalind Picard 1995. godine definiranjem Global HDR zapisa. Time je stvorena mogućnost stvaranja 32 bitnog zapisa s plutajućom referentnom točkom u kojem su pohranjene sve informacije svih zapisa (korektno eksponiranog, podeksponiranih i

preeksoniranih). Međutim takav zapis nije reproducibilan izlaznim fotografskim jedinicama te ga je potrebno transformirati u, u pravilu, 8 bitni zapis. Temeljno rješenje toga je postavio Paul Debove 1997. godine od kada je moguće softversko spajanje različito eksponiranih digitalnih zapisa iste scene uz tonsko mapiranje. Tonskim mapiranjem se pri tome definira koji će tonovi (boje) biti prikazani u užem dinamičkom rasponu što znači da u 8 bitnom zapisu mogu biti prikazani i pojedini tonovi podeksponiranih i preeksoniranih zapisa (detalji u sjenama i izrazito svijetlim područjima) uz gubitak određenih tonova zapisanih u zapisu dobivenom korektnom ekspozicijom. [2, 3, 4]

Ako se ista scena snimi preeksonirano, snimanjem će se zabilježiti tonovi tamnih dijelova scene, uz gubljenje tonova u ostalim područjima, a ako se snimi podeksponirano, zabilježit će se tonovi svijetlih dijelova scene uz gubitak tonova u ostalim područjima. Stapanjem digitalnih zapisa ovih fotografija u jedan, dobiva se zapis slike s razlučivanjem tonova u tamnim, srednjim i svijetlim tonovima. HDR fotografija je širok pojam koji obuhvaća različite tehnike snimanja i realizacije pa se tako mogu razlikovati prava, lažna i pseudo HDR fotografija. Pravom HDR fotografijom naziva se stapanje više JPEG ili RAW zapisa u jedan 32 bitni (slika 16). Lažni HDR se dobiva iz jednog JPEG zapisa dok se pseudo HDR dobiva tonskim mapiranjem jednog RAW zapisa (slika 17). Najmanje kvalitete i najlošijih rezultata biti će izrada HDR fotografije iz jednog JPEG zapisa (lažni HDR) s obzirom da on sadrži manje informacija o snimanoj sceni nego jedan RAW zapis (slika 17).



Slika 16: Usporedba HDR fotografije nastale stapanjem dva RAW zapisa u jedan i HDR fotografije nastale stapanjem dva JPG zapisa (pravi HDR)



Slika 17: Usporedba pseudo i lažne HDR fotografije

2.4.2 Predobrada sirovog digitalnog zapisa

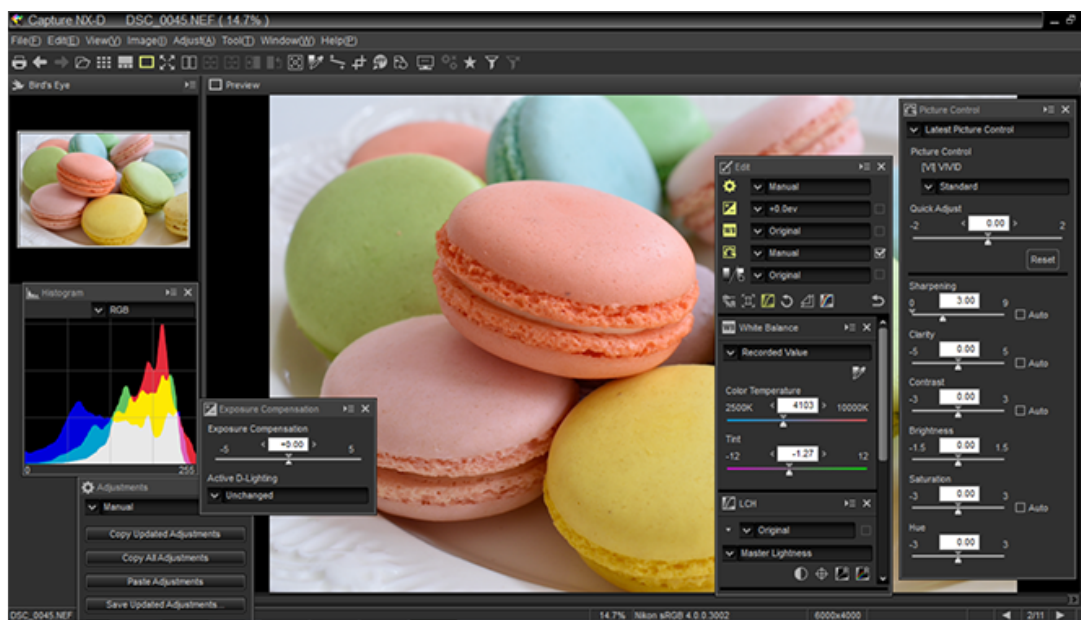
Kao što je ranije izneseno u radu RAW podaci dobiveni sa senzora su sirovi, neobrađeni, i kako bi se mogli prikazivati na monitorima i drugim uređajima ili pripremiti za ispis ili tisak, trebaju se prije toga obraditi. Kada se u fotografskom aparatu slike snimaju u JPEG formatu, ti RAW podaci se isto tako obrađuju, a to uključuje namještanje bijeloga balansa, kolorimetrijske korekcije, gama korekciju, smanjivanje šuma, antialiasing i izoštravanje. Kada se to provede, slika se sprema u JPEG format. Ako se slika sprema u RAW format, sve te operacije se ne provode u samom fotoaparatu, nego ih je kasnije moguće ručno podešavati u računalu i tu je glavna prednost RAW formata. Osim svih tih operacija obrade RAW podataka, potrebno je i smanjiti dinamički raspon koji ima RAW format na dinamički raspon koji 8 bitni format može prikazati. To se

tiče i pripreme za ispis i prikazivanja na monitorima, a osobito pripreme slika za prikazivanje na webu jer većina monitora nije sposobna prikazivati raspon veći od 8 bita po kanalu, premda postoje modeli koji mogu prikazivati i raspon od 14 bita po kanalu, ali oni su, naravno, skuplji i time nedostupni širem krugu korisnika. Što se tiče ispisa, on se događa u CMY i CMYK ili sličnom prostoru boja, koji ima manji raspon od RGB prostora u kojem je slika nastala, i za standardne tehnike ispisa je 8 bitni format dovoljan.

Softveri za obradu RAW podataka mogu se podijeliti u dvije skupine. Prva je softver koji izdaje proizvođač digitalnog fotografskog aparata koji se koristi, a drugi je sav ostali, univerzalni softver za obradu RAW podataka, koji podržava mnoštvo različitih RAW formata od svih proizvođača digitalnih fotografskih aparata. Na sav se ovaj različiti softver može gledati kao na razvijače i ostale kemikalije u klasičnoj fotografiji. Jedan film, jedna slika, može se razviti na bezbroj načina koristeći različite razvijače, razvijajući sliku duže ili kraće vrijeme, i sl. Tako je i u digitalnoj fotografiji, samo što umjesto razvijača postoji softver, i svaki program, premda u suštini radi istu stvar, obrađuje RAW podatke, je različit, svaki ima neku posebnost, svaki na drugačiji način radi tu istu stvar, i svaki ima prednosti i nedostatke. Većina tih programa ima iste mogućnosti, pojačavanja svjetline, korekcije boja i sl., ali većina ih te iste operacije radi na drugačiji način, koristeći drugačije algoritme pa daju i malo drugačije rezultate. I zato ne postoji neki najbolji softver za obradu RAW podataka, nego to ovisi o samom fotografu, o rezultatima koje želi postići, o njegovim osobnim preferencijama, i sl. Neki od poznatijih programa za obradu RAW-a su Adobeov Camera Raw (Photoshop plug-in), Bibble Pro, Adobe Lightroom, Capture One, RawShooter i drugi.

2.4.2.1 Softver proizvođača digitalnog fotoaparata

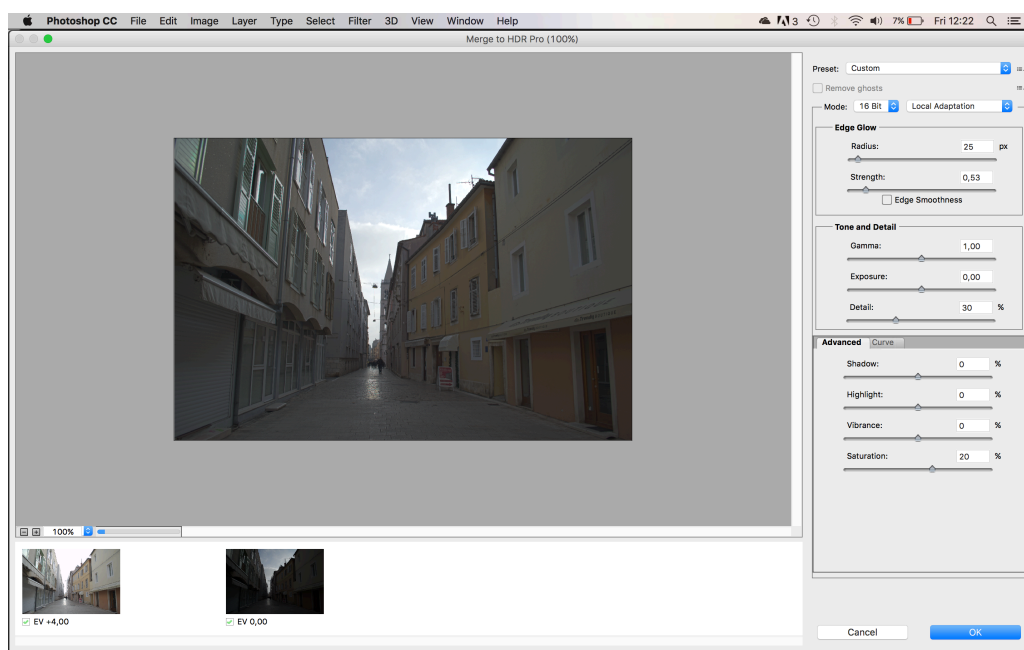
U ovu skupinu softvera za obradu RAW podataka spada onaj softver koji proizvođač digitalnog fotoaparata izdaje u paketu s fotografskim aparatom. Kod Canonovih fotoaparata taj program je Digital Photo Professional, kod Nikona to je Capture NX, kod Olympusa je Olympus Master, kod Sonya Image Data Suite, itd. Na slici 18 prikazan je izgled Nikonovog Capture NX-D programa za obradu RAW podataka. Glavna prednost softvera za obradu RAW podataka od samog proizvođača je ta da iskorištava sve informacije dobivene sa senzora, budući da zna sve o RAW formatu u kojem je slika spremljena jer neki proizvođači zasad ni ne objavljuju sve karakteristike svog RAW formata pa neke informacije i neke mogućnosti nisu dostupne drugim proizvođačima softvera za obradu RAW podataka. Nedostatak ovih programa je taj što ne podržavaju RAW formate ostalih proizvođača digitalnih fotografskih aparata, a i taj što obično imaju samo osnovne opcije, koje se provode i u samom fotografskom aparatu kod snimanja slike u JPEG-u i time ne iskorištavaju sve mogućnosti koje nudi RAW format.



Slika 18: Nikonov Capture NX

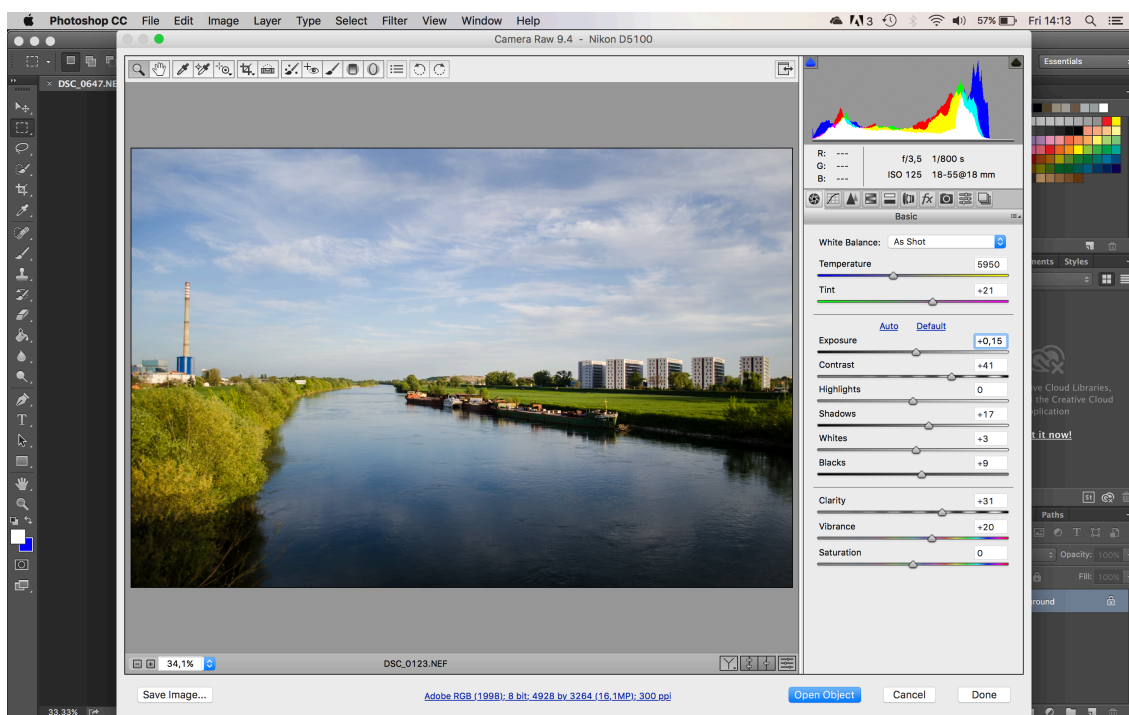
2.4.2.2 Adobe Photoshop i Adobe Camera Raw

Adobe Photoshop, ili skraćeno Photoshop, je grafički računalni program, razvijen i izdan od strane američke tvrtke Adobe Systems. Ovo je najpoznatiji računalni program za obradu slike. Prva inačica ovog programa *Photoshop 1.0* nastala je 1990. godine, a posljednja inačica ovog programa, *Photoshop CC*, je četrnaesta generacija istog proizvoda. Od izdavanja CS2 verzije 2005. godine, u programu dolazi uključen i Adobe Camera Raw dodatak (plug in) kojim se mogu otvarati i obrađivati RAW datoteke [15]. Uvođenje ovog dodatka značilo je preskakanje cijelog koraka u procesu prevođenja slike iz zapisa u uređaju do konačne, obrađene fotografije. Prije se fotografiju prvo moralo sliku u drugom programu konvertirati u JPEG ili TIFF format, onda tek otvoriti u Photoshopu i započeti finalnu obradu. Photoshop omogućuje predobradu jednog RAW zapisa fotografije, odnosno mapiranje tonova RAW zapisa u reproducibilni zapis (slika 20) ali također i spajanje dvije ili više fotografija RAW ili JPEG zapisa u jedan HDR zapis fotografije (HDR merge) kao što je prikazano na slici 19. Iako je moguće dobiti kvalitetne rezultate, Photoshop ne nudi veliku mogućnost dobivanja nadrealističnih rezultata kod gotovih HDR fotografija. [16]



Slika 19: Merge to HDR pro unutar Photoshop CS6

Za predobradu slike unutar Photoshopa prvo se otvara u Adobe Camera raw pluginu gdje je moguće manipulirati (pojačavati, smanjivati) sljedećim parametrima (slika 20): ekspozicija (*exposure*), kontrast (*contrast*), svijetliji tonovi (*highlights*), sjene (*shadows*), bijeli djelovi slike (*white*), crni djelovi slike (*black*), jasnoća (*clarity*), živost boje (*vibrance*) i zasićenost boje (*saturation*). Kada je slika procesuirana i željeni rezultati dobiveni, fotografiju možemo otvoriti u Photoshopu za daljnju obradu i dorađivanje.



Slika 20: Mapiranje tonova unutar Photoshop CC Camera Raw-a 9.4

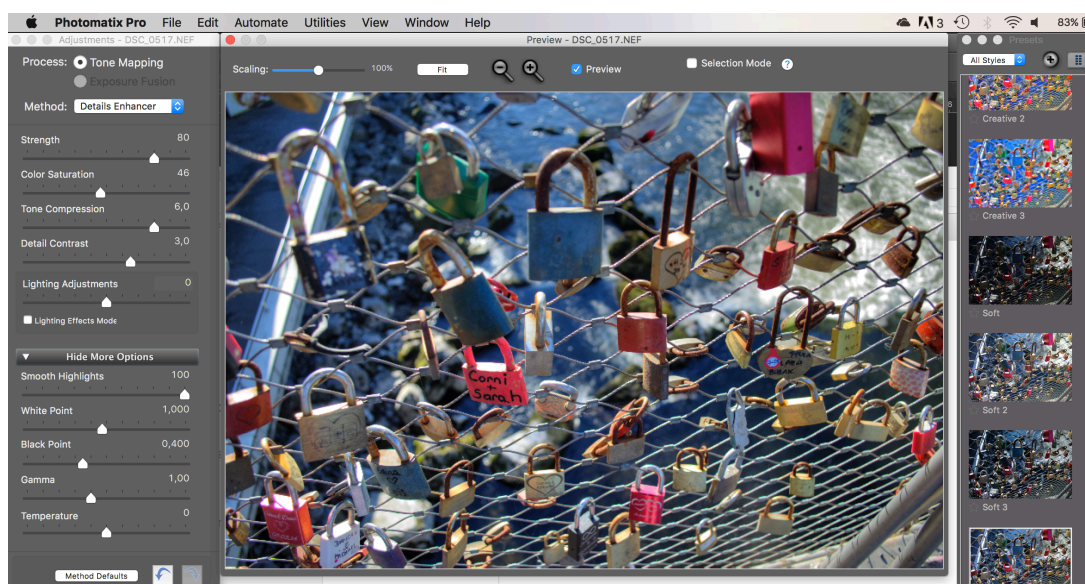
2.4.3 Tonsko mapiranje u softverima za izradu hdr-a

Kako sirovi zapis fotografske slike sadrži širi dinamički raspon od JPEG zapisa, on, uz informacije o ispravno eksponiranoj fotografskoj slici, u određenoj mjeri sadrži i informacije i o podeksponiranoj i preekspoziranoj fotografskoj slici. Na taj se način RAW zapis može tretirati i kao pseudo HDR zapis i umjesto standardno, predobraditi u reproducibilan zapis mapiranjem tonova u softverima za izradu HDR-a. Tonsko mapiranje RAW zapisa u softverima za izradu HDR-a

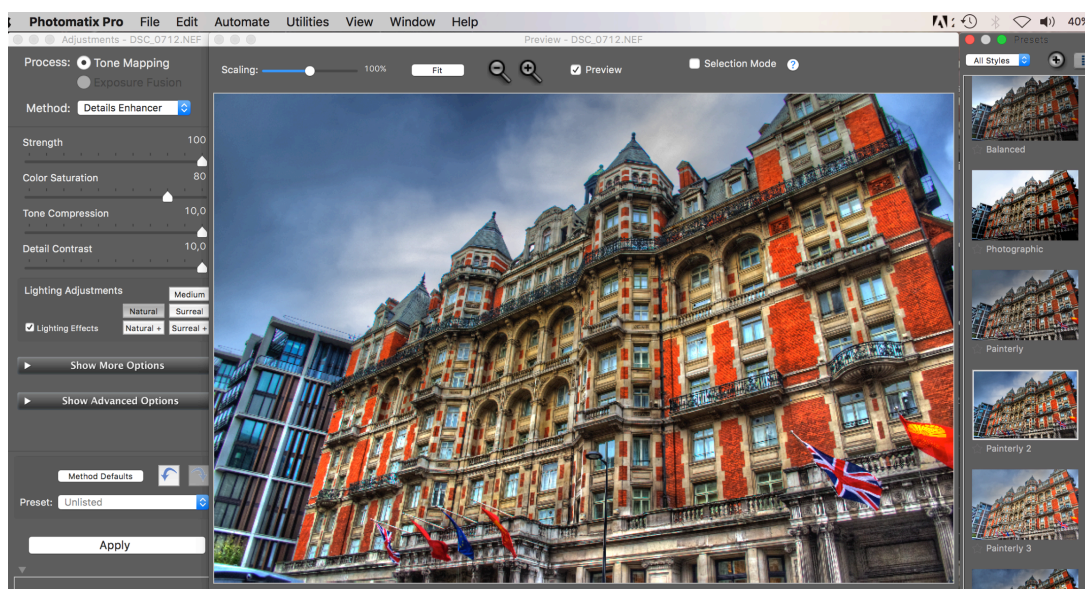
razlikuje se od tonskog mapiranja u radnije spomenutim programima za predobradu po tome što osim uspješnog mapiranja tonova on i naglašavaju detalje, pojačavaju boje, teksture i strukture do razine “nadrealnosti” koja nas vodi HDR fotografiji. Razni softveri se danas koriste u te svrhe i svakodnevno se sve više razvijaju. Neki od najpoznatijih su : Photomatix Pro, Easy HDR, Aurora HDR pro, HDR Darkroom. Dynamic-Photo HDR, Luminance, FDRTools. Za potrebe ovog rada korištena su dva takva softvera, Photomatix Pro i Aurora HDR pro.

2.4.3.1 Photomatix Pro

Photomatix Pro je program koji je napravila tvrtka HDR Soft i jedan je od najčešće korištenih programa zbog dosljednosti konačnih rezultata. Radni slijed dobivanja HDR-a je vrlo jednostavan i program sadrži sve potrebne opcije za dobivanje željenih rezultata za izradu HDR fotografije s jednom ili više slika. Dobivene HDR fotografije su uglavnom živih boja s kvalitetnim srednjim tonovima. Operateri koji se koriste za mapiranje tonova su *Details Enhancer* koji se koristi za naglašavanje detalja za fotografije nadrealističnog izgleda. *Contrast Optimizer* koji služi za dobivanje realističnog izgleda fotografije te *Tone Compressor*. [16] Tonsko mapiranje je moguće korištenjem različitih gotovih standardnih postavki unutar programa ili ručnom manipulacijom različitih parametara koji se mogu podešavati (slika 21). Slika se može prvo obraditi ručnim podešavanjem parametara a onda provući kroz različite gotove HDR postavke ili se mogu podešavati parametri za svaku gotovu postavku unutar te postavke (slika 22).



Slika 21: Tonsko mapiranje u programu Photomatix Pro

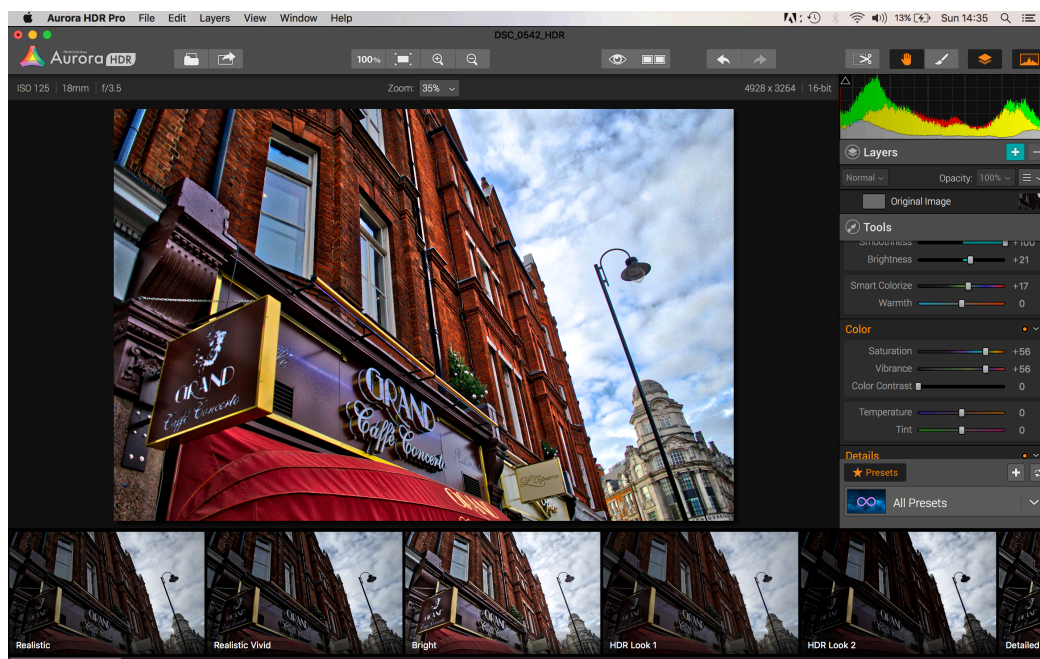


Slika 22: Korištenje preddefiniranih postavki u programu Photomatix pro

2.4.3.2 Aurora HDR Pro

Aurora HDR je zajednički projekt softverske tvrtke Macphun i svjetski poznatog fotografa Treya Ratcliffa. Aurora HDR je program namijenjen isključivo korisnicima Mac računala te je vrlo snažan, ali jednostavan softver koji daje izvanredne rezultate jednom kada korisnik savlada korištenje ovog programa. U Aurori se na raspolaganju nalazi preko 75 HDR alata, a može se instalirati i kao

plug in unutar Photoshopa, Aperturea, Lightrooma ili koristiti kao zaseban program. [17] Kao i kod Photomatixa, tonsko mapiranje je moguće korištenjem različitih gotovih preddefiniranih postavki unutar programa (slika 23) ili ručnom manipulacijom različitih parametara koji se mogu podešavati (slika 24).



Slika 23: Korištenje preddefiniranih postavki u program Aurora HDR pro



Slika 24: Tonsko mapiranje u program Aurora HDR Pro

2.4.3.3 Dynamic Photo HDR

Program MediaChancea je napravljen isključivo za Windows platformu, iako se preko određenih programa može pokrenuti i na Appelovoj. Sučelje programa je jednostavno za savladati (slika 25). Koristi šest operatera za mapiranje tonova koji nude razne mogućnosti podešavanje fotografije. Tokom procesa mapiranja tonova je moguće podešavati boje, kontrasti, konvertirati fotografiju u crno-bijelu te primijeniti različite filtre. Za snimanje iz ruke program nudi opciju ručnog pozicioniranja slika koje doduše može biti mučno i nekad neuspješno. Kod spajanja određenih fotografija algoritam programa zna stvarati artefakte i naglašene kromatske aberacije koje se trebaju ukloniti nakon dobivanja gotove HDR fotografije. [16]

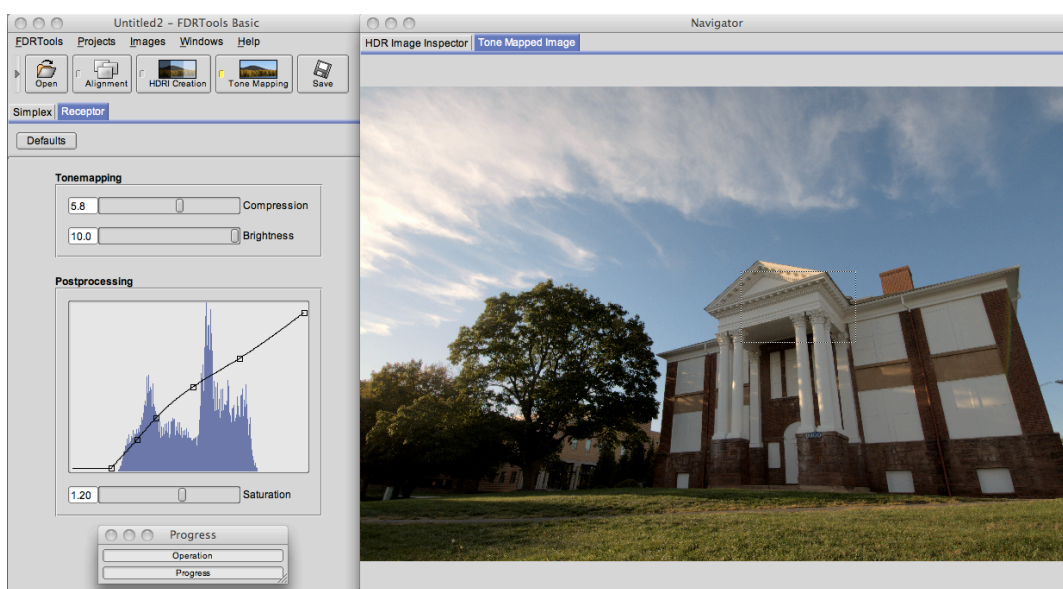


Slika 25: Tonsko mapiranje u programu Dynamic Photo HDR

2.4.3.4 FDRTools

Program FDRTools je izradila tvrtka od Andreas Schömann i ima dobru kontrolu nad cijelim 32-bitnim dinamičkim rasponom. Izrađuje konsistentno kvalitetne fotografije i s korištenjem samo predodređenih postavka programa.

Operateri programa za lokalno naglašavanje kontrasta su bolji od ostalih programa i funkcije za renderiranje sitnih detalja su odlični kod izrade fotografije za velike ispise. HDR fotografije dobivene u FDRTools programu često imaju mračniju atmosferu, iako postoji mogućnost manipulacije fotografije u konačnom procesu izrade. Program ima sporije vrijeme procesiranja. Korisničko sučelje je jednostavno napravljeno što ga čini dobrim programom za početnike, ali i profesionalne fotografe (slika 26). [16]



Slika 26: Tonsko mapiranje u program FDRTools

2.4.3.5 Fhotoroom HDR (Artizen HDR)

FHOTOROOM (Artizen) HDR je napravila tvrtka Supportin Computers. Spajanje i pozicioniranje slika je jednostavno, a vrijeme procesiranja vrlo brzo. Postoje puno opcija kod biranja operatera za mapiranje tonova, a samo mapiranje komplicirano i dugotrajno, zbog čega se često koriste predodređene postavke i operater Lock06 koji najčešće daje najbolje rezultate. Program dobro procesira tamne dijelove slike dok kod svijetlih dolazi do problema naročito kod neba. Nebo uglavnom dobiva plosnati izgled i sumornu sivu boju što se pogoršava kod više kontrastnih scena (slika 27). Također Artizen HDR gubi detalje zbog

šuma što ne smeta kod otisaka manjih formata, ali nije dovoljno kvalitetan program za koristiti kod većih formata. [16]



Slika 27: Tonsko mapiranje u programu Fotoroom HDR

2.4.4 Snimanje i mapiranje tonova jedne RAW fotografije (pseudo HDR)

RAW slikovne datoteke se ponekad nazivaju digitalnim negativima zbog određenih sličnosti s filmskim negativom u klasičnoj fotografiji (negativ također nije kao slika direktno upotrebljiv, ali sadrži svu potrebnu informaciju za stvaranje slike). Poput fotografskog negativa, RAW digitalni zapis obično sadrži veći dinamički raspon (veći gamut) od eventualnog završnog formata slike. Proces konvertiranja RAW datoteke u format koji omogućava normalan pregled na računalu se stoga ponekad naziva razvijanjem RAW (osnovne, 'sirove') slike. [6] Sama činjenica da on može sadržati i više od 14 bita po RGB kanalu govori da je pomoću njega moguće izvući svijetle i tamne detalje koji bi bili izgubljeni i koji jesu izgubljeni ako se slika spremi u 8 bita/kanalu. Na slici 28 se vidi manja prisutnost šuma na mapiranoj RAW fotografiji u odnosu na JPEG fotografiju na kojoj je korištena ista postavka istog softvera za tonsko mapiranje.



Slika 28: Uvećanje fotografije dobivene mapiranjem RAW zapisa i JPG zapisa

Prednosti rada s jednom ekspozicijom su smanjeno vrijeme procesiranja u programu, korištenje manje memorije računala, pojednostavljeni radni tok mapiranja tonova i rad s fotografijama bez ghost efekata. Situacija često ne omogućuje snimanje više različito eksponiranih fotografija, pogotovo kod objekata koji su u pokretu, ulica, događanja ili ako fotograf nema stativ ili mjesto na koje bi mirno mogao odložiti aparat. U takvim situacijama snimanje jednog RAW zapisa nameće se kao idealno rješenje (slike 29 i 30).



Slike 29 i 30: Snimanje jednog RAW zapisa zbog dinamične scene

Najveći izazov se javlja kod samog snimanja scene. Prvi korak je izbor scene manjeg kontrasta. Kod scena srednjeg kontrasta se povećava vjerojatnost grešaka kod mapiranja tonova jer će digitalni šum biti naglašen, dok se kod

scena visokih kontrasta uvijek preporuča fotografiranje više ekspozicija za izradu HDR fotografije.

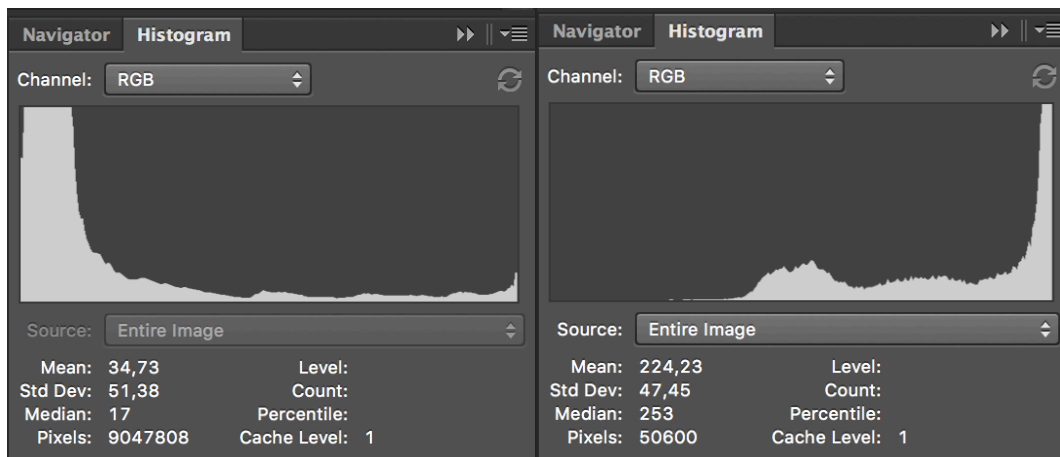
Smanjenje šuma kod snimanja se može postići:

- pravilnom ekspozicijom i malo više osvijetljena kako bi se uhvatilo što više detalja u sjenama,
- korištenjem opcije fotografskog aparata za smanjenje šuma,
- procesiranjem RAW datoteke u programu poput Photoshopa za smanjenje šuma boje (noise reduction, luminance, color noise reduction).

Rad s jednom fotografijom omogućuje izmjene prije mapiranja tonova koje se ne preporučaju kod rada s više ekspozicija, poput prilagođavanja ekspozicije kako bi se popravili previše osvijetljeni dijelovi scene.

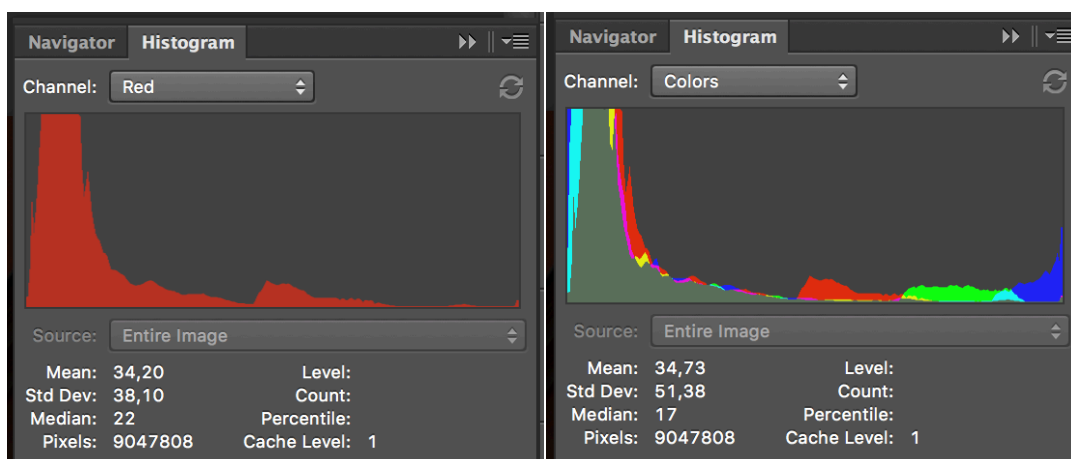
2.5 Histogram digitalnog zapisa fotografske slike

Histogram digitalnog zapisa fotografske slike predstavlja grafički prikaz distribucije tonova, tj. raspoređenost piksela po pojedinom tonu. U slučaju 8 bitnog RGB zapisa to znači da je u svakom kanalu moguće razlikovati 256 tonova (od 0, što predstavlja crnu, do 255, što predstavlja bijelu). Ukupno, to znači razlučivanje 256^3 , odnosno 16777216 tonova (boja). [1, 3] Lijeva strana histograma prikazuje tamna, a desna, a desna svijetla područja što znači da će histogram preeksponirane fotografije većinu piksela prikazati u desnom, a podeksponirane u lijevom dijelu (slika 31) dok će histogram korektno eksponirane fotografije biti uravnotežen kroz cijeli dijagram s manje naglašenim, nečešljastim, brjegovima i dolovima. Visina krivulje grafa unutar histograma ne daje informacije o tome koliko je tamna ili svijetla scena; to je strogo referenca tome koliko je piksela u sceni snimljeno u danom levelu ekspozicije. [18] Graf s višom krivuljom, veće površine, može značiti da je fotografija bogatija tonovima od one koja ima graf manje površine (slika 33).



Slika 31: Histogram podeksponirane i preeksponirane fotografije

Na histogramu se mogu pratiti i promjene na samo jednom od kanala zasebno (RGB) ili pratiti sve kanale na jednom grafu odnosno kompletni histogram kao što je prikazano na slici 32.



Slika 32: Histogram crvenog kanala (R) i histogram svih kanala

Histogram boje može potencijalno biti skoro identičan za dvije slike različitog sadržaja ako su im zajedničke vrlo slične boje, snimljene na sličnim vrijednostima ekspozicije. Također, slični objekti različitih boja mogu biti nerazpoznatljivi u boji kod usporedbe histograma. Bazirano samo na histogramu možda neće biti moguće razlikovati zelenu jabuku na crvenom tanjuru ili crvenu jabuku na zelenom tanjuru.

Histogrami precizno opisuju informacije o svjetlini pojedine slike, ali ne postoji “dobar” ili “loš” histogram. Različiti motivi mogu generirati potpuno različite histograme, ali oboje mogu biti pravilno eksponirani. Na primjer, bijela ruža na bijeloj pozadini, ako je pravilno eksponirana, generirat će histogram poguran na desno, zato što na slici nema sjena ili su, ako ih ima, u srednjim tonovima. U ovom primjeru, praktički će svi pikseli na slici pokazivati poprilično visok nivo svjetline na pravilno eksponiranoj slici.

Također, crna šalica na crnoj pozadini će pokazivati histogram poguran u lijevo, što bi normalno bio znak podeksponiranosti, ali u ovom slučaju, u stvarnoj sceni, ima malo srednjih tonova i nema svijetlih. U ovom hipotetskom slučaju, pravilno eksponirana slika ovog tipa scene bi proizvela histogram gdje bi velika većina piksela bila tamna do skoro crna u levelu svjetline s obzirom da su i pozadina i subjekt tamni u stvarnosti. [18]

Histogram digitalnog zapisa fotografske slike se može smatrati jednim od osnovnih alata pri objektivnoj analizi promjena tonova i boja fotografske slike te jasno ukazuje na tonske razlike fotografske slike dobivene direktno snimanjem u JPEG zapisu i one dobivene tonskim mapiranjem RAW zapisa dobivenog snimanjem u 8 bitni JPEG zapis. Kao što je vidljivo na slici 33, histogram fotografije koja je dobivena mapiranjem RAW zapisa ima puno veći brijeg i površinu što potvrđuje da RAW zapis sadrži puno veći raspon tonova od JPG zapisa.

Histogram prave HDR fotografije ima pravilan oblik gdje su pikseli grupirani prema središnjem dijelu, i nema preeksponiranih ili podeksponiranih piksela na ekstremima. Mapiranjem tonova se redistribuiraju pikseli s više fotografija na jednu, koja sadrži sve detalje koji se inače gube. [6]



Slika 33: Histogram originalne fotografije, fotografije dobivene mapiranjem jednog RAW zapisa i one dobivene mapiranjem jednog JPEG zapisa

Histogram prave HDR fotografije ima pravilan oblik gdje su pikseli grupirani prema središnjem dijelu, i nema preeksponiranih ili podeksponiranih piksela na ekstremima. Mapiranjem tonova se redistribuiraju pikseli sa više fotografija na jednu, koja sadrži sve detalje koji se inače gube. [6]

Međutim, za daljnju je objektivizaciju analize promjena digitalnog zapisa fotografske slike je potrebno i kvantificirati razlike u histogramima za što je u ovom radu korišten odgovarajući softver za usporedbu histograma.

3. PRAKTIČNI DIO

3.1 Korištena oprema

Za izradu autorskih fotografija u tablici 5 je navedena korištena oprema za snimanje i programi za procesiranje fotografija.

Tablica 5: Oprema korištena za snimanje i obradu fotografija

Fotoaparati	Nikon 5100D
Objektiv	AF-S DX Zoom-Nikkor ED 18-55mm F3.5-5.6G, AF Nikkor 24mm f/2.8D, AF-S NIKKOR 50mm F1.4G
Stativ	CAMLINK CL-TPPRE29-BL
Programi	Photomatix Pro 5, Aurora HDR Pro Adobe Photoshop CC (Camera Raw 9.4), CS6 (Camera Raw 9.1.1)

3.2 Proces snimanja i izrade fotografija

Za potrebe su rada snimljene fotografije različitih scena digitalnim fotografskim aparatom senzora dubine zapisa boja 14 bita po kanalu. Fotografije su snimljene u JPEG zapisu najveće finoće (12) te RAW NEF formatu. Fotografije snimljene u RAW formatu su učitane u različite softvere za HDR fotografiju kako bi se omogućilo tonsko mapiranje 14 bitnog u 8 bitni zapis po kanalu. Fotografije su tonski mapirane u dva odabrana softvera: PHOTOMATIX PRO i AURORA HDR Pro. Pri tonskom mapiranju je korišteno nekoliko standardnih preddefiniranih varijacija odnosno postavki mapiranja za svaki softver. Ručno nisu mijenjani prilikom tonskog mapiranja nikakvi parametri poput ekspozicije ili zasićenosti boja.

Za sve su izvorne JPEG zapise i JPEG zapise dobivene tonskim mapiranjem RAW zapisa određeni histogrami kako bi se usporedili tonovi pojedinih izvorno snimljenih i generiranih JPEG zapisa.

Kako bi se omogućila daljnja objektivizacija analize promjena digitalnog zapisa fotografske slike, tj. kvantifikacija razlika u histogramima, korišten je i na promatranim fotografijama testiran softver razvijen u radu "Usporedba izlaznih histograma JPEG zapisa fotografske slike dobivenih tonskim mapiranjem RAW zapisa" [20].

3.3 Odabir scene

Kao što je ranije spomenuto u radu, snimanje HDR tehnikom nije moguće (npr. objekt u pokretu), a često niti potrebno (npr. kada se ukupni dinamički raspon može zabilježiti u 10, 12 ili 14 bitnom zapisu), kod pojedinih fotografskih motiva i scena. U tim se situacijama, kao alternativa HDR fotografiji, nameće korištenje punog dinamičkog raspona senzora digitalnog fotografskog aparata, a to je snimanje u RAW (sirovom) formatu. Za izradu ovog rada birane su različite scene. Naglasak je bio na dinamičnoj sceni, pretežito ulice i pejzaži, scene koja nije statična, kako bi se opravdalo korištenje samo jednog RAW zapisa umjesto više ekspozicija. Iz istog razloga, stativ nije korišten kako bi se pokazao process izrade pseudo HDR fotografije snimane "iz ruke". To je ono što je zajedničko snimljenim fotografijama, no kako bi se maksimalno iskoristili i usporedili programi za obradu odnosno tonsko mapiranje, snimljene su fotografije uz različite osjetljivosti (dnevna i noćna scena) te fotografije koje imaju različite zastupljenosti tonova i boja, s obzirom da se na histogramu (koji služi kao alat za usporedbu i kvantificiranje razlika i promjena) mogu pratiti promjene na crvenom plavom i zelenom kanalu (RGB). Također, vizualno je lakše donijeti zaključke o promjenama i ponašanju boja na fotografijama, prilikom tonskog mapiranja, kod većeg broja fotografija sa različitim tonskim zastupljenostima.

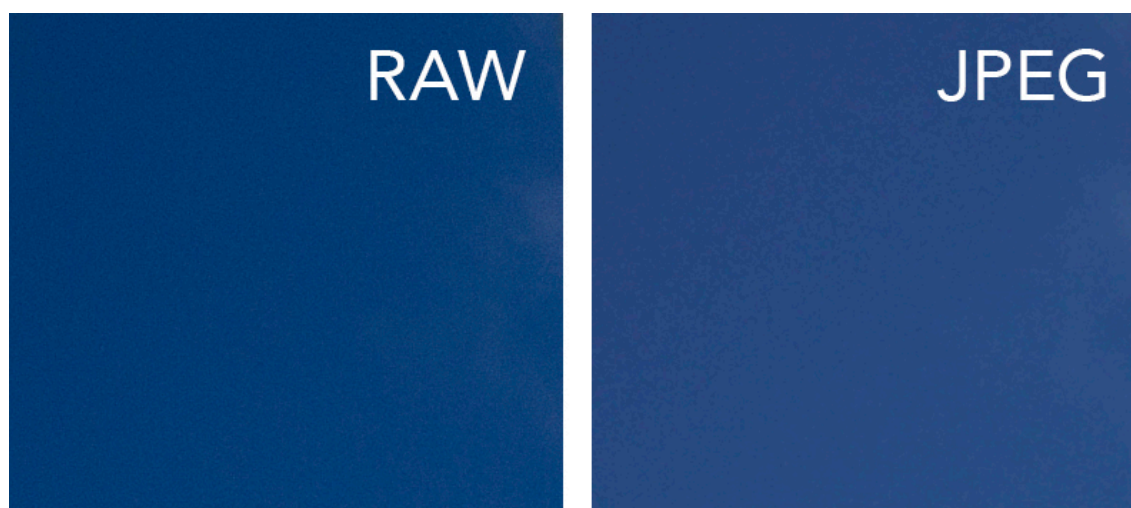
3.4 Vizualna analiza JPEG i RAW zapisa

Prije vizualne usporedbe odabranih fotografija bitno je istaknuti vizualnu razliku koju imaju JPEG zapis i RAW prije ikakve obrade. Budući da se svi procesi prilikom kompresije kod JPEG formata odvijaju u fotografskom aparatu, JPEG i RAW zapis često imaju razlike u kontrastu te zasićenju tonova kao što se vidi na slici 34. Razlika je najuočljivija na plavim djelovima, na RAW zapisu je plavo nebo intenzivnije i zasićenije dok je kod JPEG zapisa došlo do korekcije svjetline prilikom zapisivanja datoteke unutar memorije fotografskog aparata.



Slika 34: Vizualna usporedba JPEG i RAW zapisa iste scene

Stupanj šuma na slikama JPEG i RAW formata (slika 35) je prikazan bez dodatne obrade u programu. Uočljivo je da RAW datoteka prikazuje znatno veći šum od JPEG zapisa te JPEG datoteka djeluje oštrije od RAW zapisa. Ovaj proces se također dešava prilikom zapisivanja datoteke u memoriju fotoaparata. U slučaju RAW zapisa, više šuma znači veća oštrina i prikaz većeg broja detalja. Razlike su najuočljiviju u tamnom području fotografije gdje je prikazano nebo. Kod RAW formata, šum bi mogli dalje uklanjati programima za redukciju šuma što bi vjerojatno dalo vrlo dobre rezultate nakon minimalne obrade dok se JPEG zapis može nastaviti dalje obrađivati, ali se ne mogu povratiti izgubljeni detalji što bi završilo u ponovnoj pojavi šuma ili znatno smanjenoj oštrini.



Slika 35: Usporedba oštine i šuma na JPEG i RAW zapisu iste scene

3.5 Autorske fotografije

Na slikama 36-45 su prikazane autorske fotografije dobivene tonskim mapiranjem u ranije spomenuta 2 programa za tonsko mapiranje. 10 različitih fotografija obrađeno je koristeći 3 različite preddefinirane postavke za tonsko mapiranje unutar svakog softvera.

Originalni JPG zapis



Default



Painterly 4



Photomatix



Smooth

Originalni JPG zapis



Realistic vivid



Bright



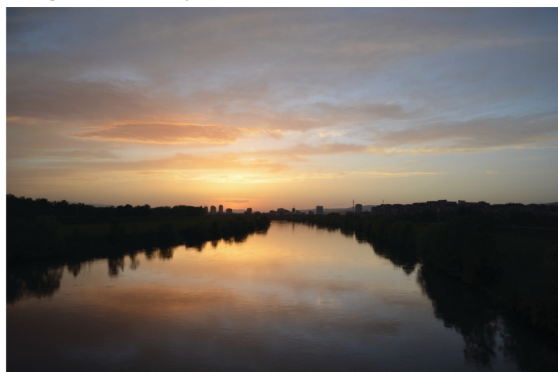
Aurora



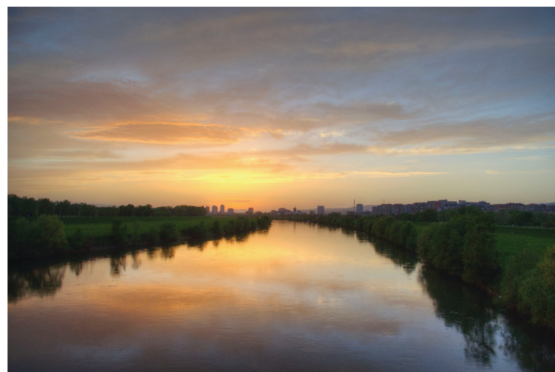
Landscape realistic

Slika 36: Tonsko mapiranje u programima Photomatix Pro i Aurora HDR Pro

Originalni JPG zapis



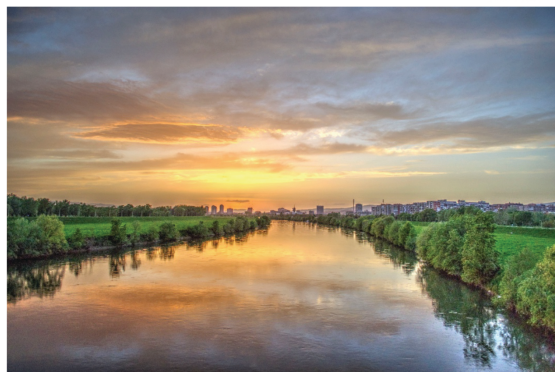
Default



Painterly

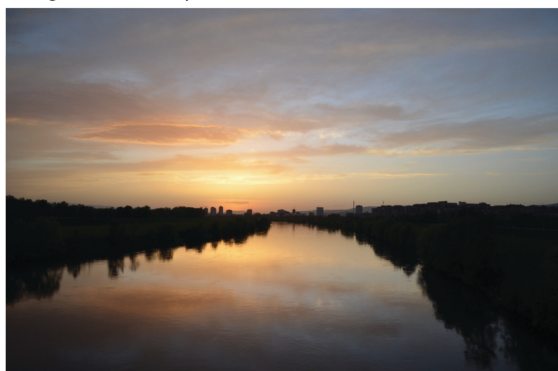


Photomatix



Vibrant

Originalni JPG zapis



Realistic vivid



Bright



Aurora



Landscape bright

Slika 37: Tonsko mapiranje u programima Photomatix Pro i Aurora HDR Pro

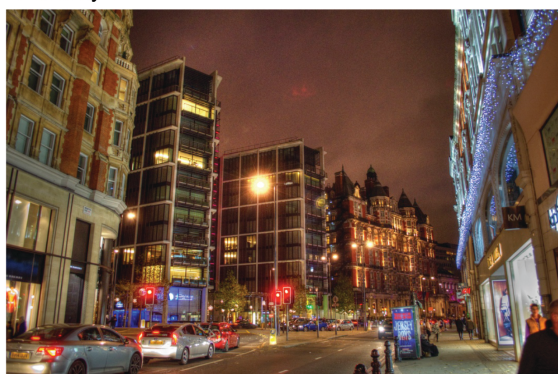
Originalni JPG zapis



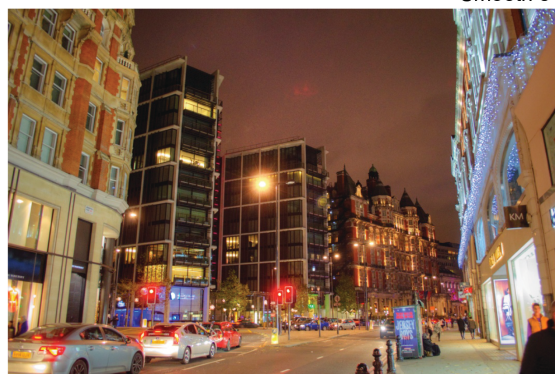
Default



Painterly 4

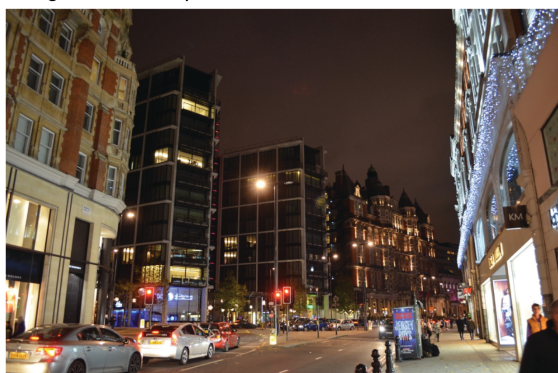


Photomatix

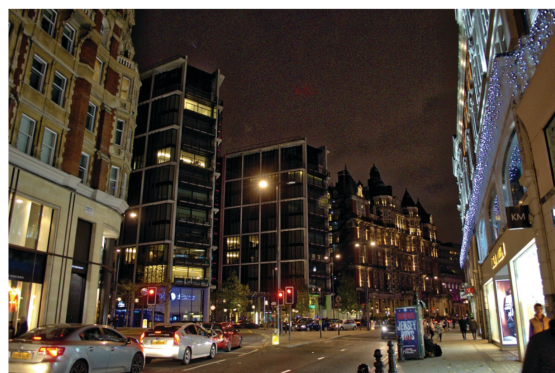


Smooth 3

Originalni JPG zapis



Realistic vivid



Architecture realistic



Aurora



Smooth

Slika 38: Tonsko mapiranje u programima Photomatix Pro i Aurora HDR Pro

Originalni JPG zapis



Default



Painterly 3



Photomatix



Smooth 3

Originalni JPG zapis



Realistic vivid



Bright



Aurora



Smooth

Slika 39: Tonsko mapiranje u programima Photomatix Pro i Aurora HDR Pro

Originalni JPG zapis



Default



Painterly 3



Photomatix

Smooth



Originalni JPG zapis



Realistic vivid



Bright

Aurora

Smooth



Slika 40: Tonsko mapiranje u programima Photomatix Pro i Aurora HDR Pro

Originalni JPG zapis



Default



Painterly 3



Photomatix



Smooth

Originalni JPG zapis



Realistic vivid



Bright



Aurora



Landscape bright

Slika 41: Tonsko mapiranje u programima Photomatix Pro i Aurora HDR Pro

Originalni JPG zapis



Default



Painterly 2



Photomatix

Smooth



Originalni JPG zapis



Realistic vivid



Bright



Aurora

Landscape bright



Slika 42: Tonsko mapiranje u programima Photomatix Pro i Aurora HDR Pro

Originalni JPG zapis



Default



Painterly 2



Photomatix



Vibrant

Originalni JPG zapis



Realistic vivid



Bright



Aurora



Landscape bright

Slika 43: Tonsko mapiranje u programima Photomatix Pro i Aurora HDR Pro

Originalni JPG zapis



Default



Painterly 2



Photomatix



Smooth

Originalni JPG zapis



Realistic vivid



Bright



Aurora



Landscape bright

Slika 44: Tonsko mapiranje u programima Photomatix Pro i Aurora HDR Pro

Originalni JPG zapis



Default



Painterly 2



Photomatix

Smooth



Originalni JPG zapis



Realistic vivid



Bright



Aurora

Smooth

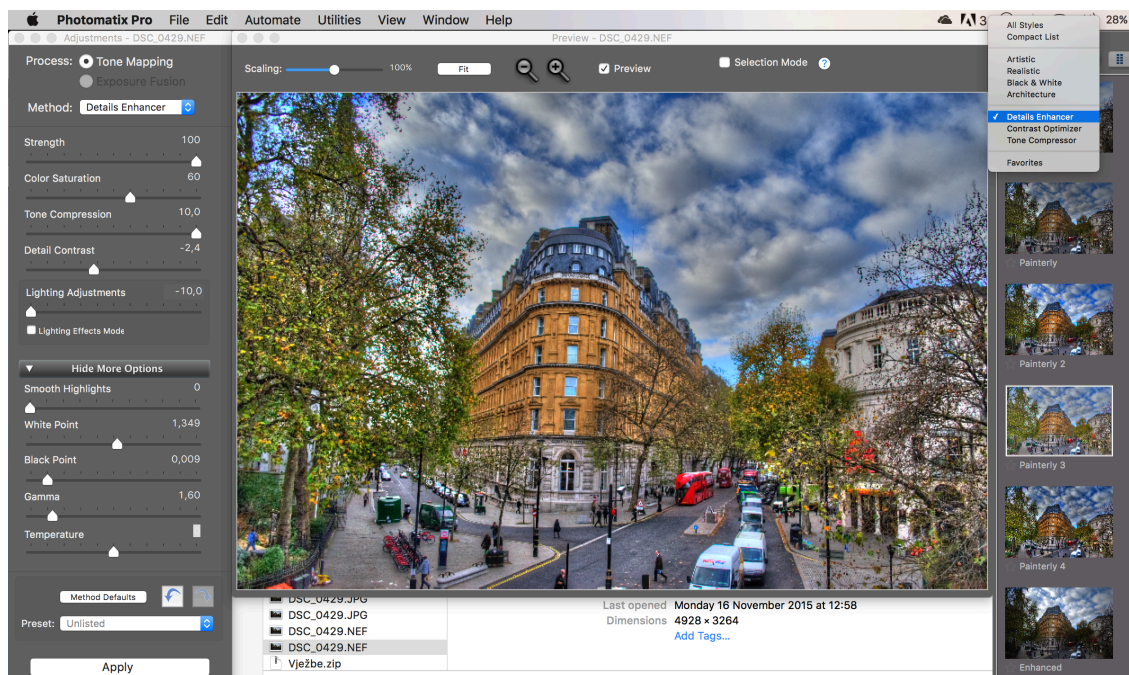


Slika 45: Tonsko mapiranje u programima Photomatix Pro i Aurora HDR Pro

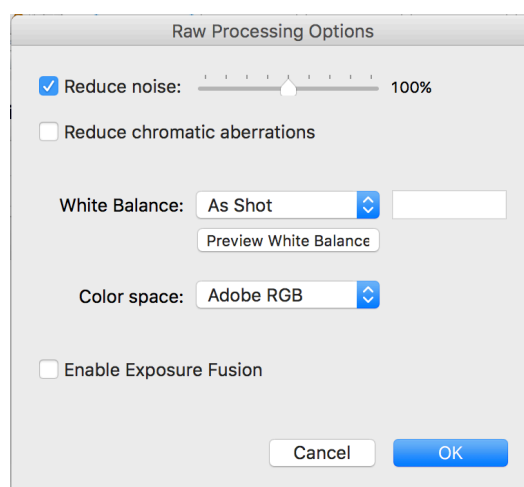
4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1 Vizualna procjena fotografija i usporedba korištenih softvera

U oba programa su korištene preddefinirane postavke za koje je procijenjeno da mogu dati fotografije življih boja te optimalne i najzamjetnije rezultate. Nakon vizualne usporedbe i procjene fotografija može se zaključiti da (koristeći preddefinirane postavke) Photomatix daje živopisnije i intenzivnije boje s kvalitetnim srednjim tonovima i većim kontrastima pomalo nadrealističnog doživljaja. Od tri moguća operatera za mapiranje tonova u Photomatixu (*Tone Compressor*, *Details Enhancer* i *Contrast Optimizer*) korišteni su *Details Enhancer* (sve preddefinirane postavke osim *Vibrant*) te *Contrast Optimizer (Vibrant)*. *Details Enhancer* naglašava detalje i daje intenzivnije boje dok *Contrast Optimizer* daje realističnije rezultate. Photomatix nudi biranje preddefiniranih postavki unutar svakog operatora, ali može ih se koristiti i sve zajedno ako odaberemo *All styles*. Također, postavke se mogu grupirati i prema namjeni: *Artistic*, *realistic*, *black and white*, *architecture* (slika 46). Količina šuma koji se javlja prilikom mapiranja podjednako je prisutna i u jednom i u drugom programu. Iako Photomatix nudi mogućnost redukcije šuma (*reduce noise*) pri otvaraju fotografije (slika 47), prije samog učitavanja, šum je nešto više izražen kod Photomatixa s obzirom da je on jače pojačao kontraste i njegovi rezultati su intenzivniji. Također, šum je u oba programa najviše naglašen kod fotografija snimanih sa visokim osjetljivostima ili fotografijama s velikim kontrastima u sceni (ekstremno svijetli ili tamni djelovi).



Slika 46: Skupine i operateri za mapiranje tonova u Photomatixu



Slika 47: Photomatix nudi mogućnost redukcije šuma prije samog učitavanja slike

Aurora HDR daje puno zagasitije, ravnomjernije i realističnije rezultate, bliskije originalnoj fotografiji, a čak bi se moglo reći da neki od rezultata djeluju podeksponirano. Uz ručno namještanje parametara tonskog mapiranja možemo dobiti puno intenzivnije i življe rezultate kao što se vidi na slici 48, no za potrebe

ovog rada promatraju se samo rezultati dobiveni uz korištenje preddefiniranih postavki. Šum je prisutan u oba slučaja i najviše naglašen kod fotografija snimanih sa visokim osjetljivostima ili fotografijama s velikim kontrastima u sceni.



Slika 48 : Usporedba fotografija dobivenih korištenjem preddefinirane postavke za tonsko mapiranje u Aurori HDR i ručno namještanje parametara tonskog mapiranja

Aurora HDR daje na korištenje puno veći broj mogućih gotovih preddefiniranih postavki za tonsko mapiranje, razvrstani su u nekoliko skupina (slika 49): *Basic*, *Architecture*, *Landscape*, *Indoor*, *Dramatic*, *Trey Ratcliff* (po osnivaču Aurore).



Slika 49: Prikaz skupina preddefiniranih postavki za tonsko mapiranje u Aurori

4.2 Analiza histograma fotografija dobivenih tonskim mapiranjem

4.2.1 Photomatix Pro

Analiza histograma potvrđuje ono što je ranije zaključeno vizualnom procjenom fotografija. Fotografije dobivene tonskim mapiranjem u Photomatixu imaju histograme pravilnijih i punijih brijegova, sa zastupljenosti u srednjem dijelu grafa što znači da nisu niti predeksponirane niti podeksponirane. Velika površina ispod krivulje znači da su punih tonova, intenzivnijih boja. U usporedbi s originalnom JPEG fotografijom vidi se velika razlika vizualno, a in a histogramu. Na promatranim fotografijama je vidljivo kako se brijeg histograma

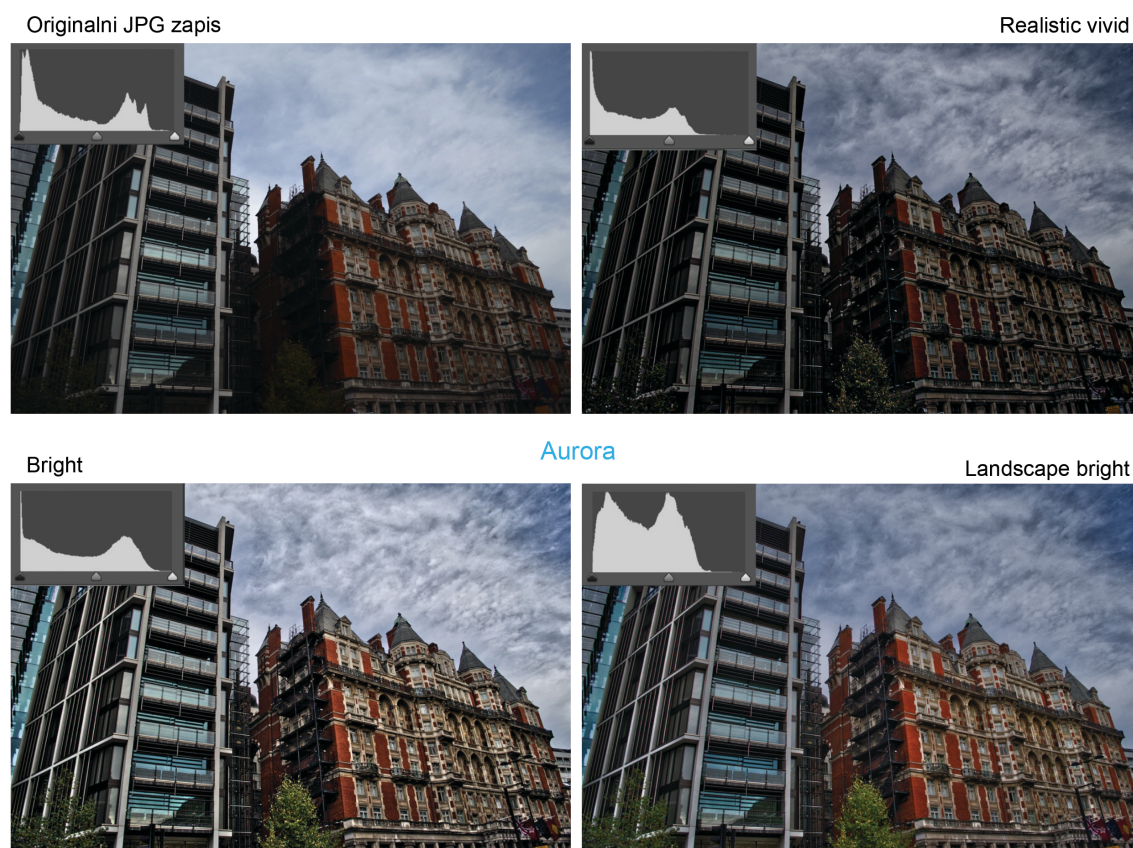
s desne strane penje u jednom dijelu desno i prema gore što znači da je fotografija blago preekspozirana ili je na nekom dijelu veća prisutnost svijetlih tonova u odnosu na cjelinu (slika 50). U sve tri tonski mapirane fotografije taj dio je ispravljen, histogram se ne penje prema gore, što znači da je korištenjem te tri preddefinirane korektirane sveukupna svjetlina na fotografiji. Osim što se razlikuju od histograma originalne fotografije, histogrami JPEG zapisa nastalih tonskim mapiranjem RAW zapisa razlikuju se i međusobno. Svima je zajednički veliki brijeg u srednjem dijelu grafa no distribucija tonova je malo drugačija. Teško je reći koja je preddefinirana postavka dala najbolji rezultat s obzirom da to ovisi o preferencijama fotografa i onome što se želi postići.



Slika 50: Usporedba histograma fotografija dobivenih tonskim mapiranjem

4.2.2 Aurora HDR Pro

Fotografije dobivene tonskim mapiranjem u softveru Aurora HDR Pro vizualnom procjenom daju tamnije rezultate što se može potvrditi analizom dobivenih histograma na promatranom primjeru (slika 51). Originalni JPEG zapis fotografije sam po sebi djeluje tamno što se vidi i na njegovom histogramu, brijeg grafa se penje u lijevoj strani, no pada prije kraja i dotiče “rub” histograma pri dnu što znači da je fotografija blago podeksponirana ili predvladavaju tamniji tonovi, a u ovom slučaju prisutno je oboje. Sve tri korištene postavke rezultirale su histogramima koji su pogurani lijevo ili dotiču lijevu stranu što znači da, za razliku od Photomatixa, Aurora nije sama puno ispravljala svjetlinu na fotografiji. Niti jedan histogram nije smješten u sredinu, a za razliku od Photomatixa, histogrami se dosta razlikuju oblikom. Postavka *Landscape bright* je rezultirala histogramom najvećeg brijega, a i na samoj fotografiji se može vizualno primjetiti najveća zastupljenost tonova, življe i intenzivnije boje.



Slika 51 : Usporedba histograma fotografija dobivenih tonskim mapiranjem

4.3 Softver za usporedbu histograma

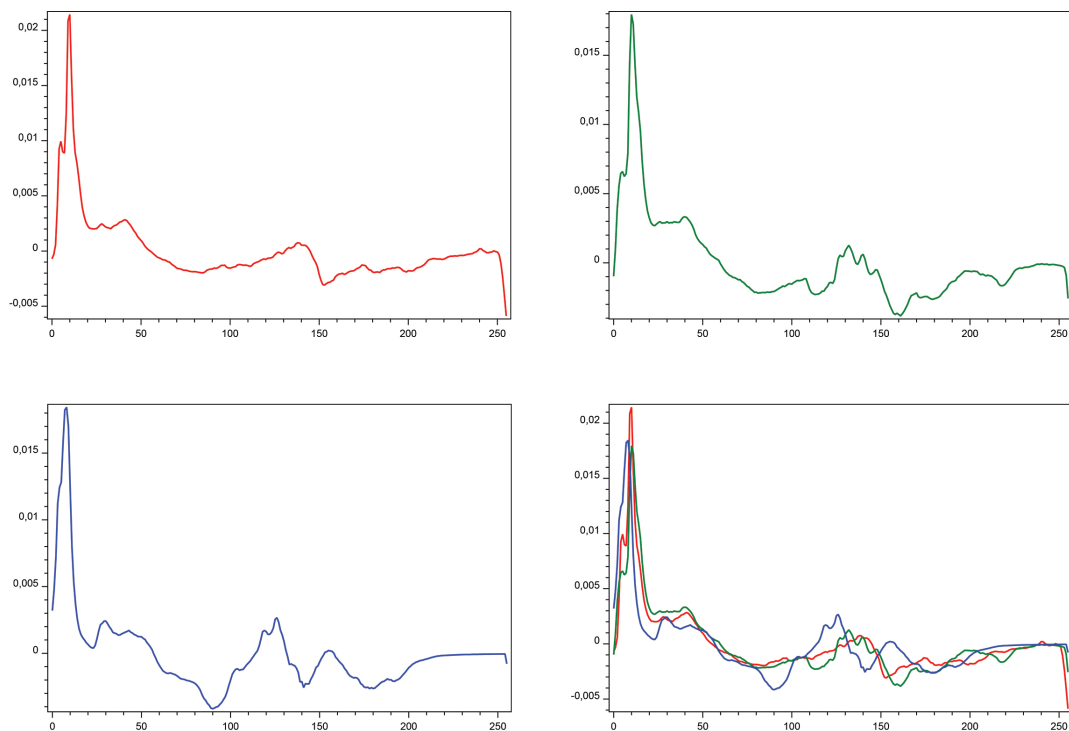
Kako bi se pojednostavio process analize histograma za pojedinu ili dvije fotografije međusobno, može se koristiti odgovarajući softver. Umjesto da se fotografije otvaraju u nekom od programa za obradu fotografije (u ovom slučaju je korišten Photoshop) moguće je jednostavno odabrati jednu ili dvije fotografije te ih ubaciti u softver za analizu histograma koji je testiran u ovome radu. Korišteni softver je originalno razvijen u radu "Usporedba izlaznih histograma JPEG zapisa fotografske slike dobivenih tonskim mapiranjem RAW zapisa" [20].

Program analizira slikovne datoteke u RGB sustavu boja te na temelju dobivenih podataka generira histogram koji predstavlja sadržaj boja slike. Histogram je pohranjen u slikovnoj datoteci, no brojčane vrijednosti histograma se nalaze u tablici unutar tekstualne datoteke. Osim analize pojedinih datoteka, program podržava i usporednu analizu dvije slike kojom se dobiva histogram razlike dviju slika koji može konkretno pokazati što odnosno kakve promjene su se dogodile na kanalima tih fotografskih slika.

Prikazane su fotografije na kojima je korišten softver (slika 52). Testirane su originalna fotografija i fotografija dobivena tonskim mapiranjem RAW zapisa u program Photomatix. Na fotografijama su vidljive razlike u boji, prikazu tonovima, kontrastima i svjetlini. Histogrami razlike dobiveni korištenjem softvera ukazuju na te promjene (slika 51). Dobiveni graf je rezultat "oduzimanja" dva grafa (histograma prve i druge fotografije). Na ovaj način mogu se kvantificirati i pratiti dobivene rezultate tonskih mapiranja. Svrha korištenja ovog softvera je usporedba fotografskih slika bilo s ciljem traženja sličnosti, razlika ili degradacije kvalitete prenosa informacije kroz fotografsku sliku.



Slika 52: Fotografije analizirane softverom: Originalni JPEG zapis i fotografija dobivena tonskim mapiranjem RAW zapisa u program Photomatrix



Slika 51: Generirani histogrami razlike : Crveni kanal (R), zeleni kanal (G), plavi kanal (B) i svi kanali na jednom grafu (RGB)

Osim što je generirano histograme razlike, softver je i generirano Excell tablicu u kojoj su pohranjene i kvatificirane sve razlike kao brojčane vrijednosti. U tablici se nalazi brojčana vrijednost za svaki od kanala (RGB) za sve točke histograma (0-256). U tablici 6 prikazan je dio brojčanih vrijednosti.

Tablica 6: Dio izlazne tablice za kvantitativnu usporedbu histograma

sep=\t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Red	-0,0007064	-0,0003137	0,00055126	0,00409952	0,00925577	0,00994454	0,00899869	0,00887711	0,01243621	0,02086667	0,02144315
Green	-0,0009703	0,00095766	0,00382749	0,00554779	0,00646492	0,00659541	0,00624618	0,00643968	0,00790427	0,01440144	0,0179519
Blue	0,0032011	0,00483428	0,00723346	0,01122197	0,01241238	0,01282683	0,01575543	0,018228	0,01843217	0,01701482	0,01234525
	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
	-0,0015465	-0,0015049	-0,0014439	-0,0014208	-0,0012751	-0,0012235	-0,0012312	-0,0012831	-0,0012859	-0,0012826	-0,0013195
	-0,0015409	-0,001427	-0,0013581	-0,0012804	-0,0012885	-0,0012749	-0,001233	-0,0011474	-0,001152	-0,0015388	-0,0019247
	-0,0020014	-0,0015668	-0,0013412	-0,0011874	-0,0011624	-0,0012748	-0,0012211	-0,001213	-0,0010408	-0,0008664	-0,0007232
	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	0,00095947	0,00075157	0,0004837	0,00028695	0,00013675	9,5615E-06	-0,0001121	-0,0002644	-0,0003968	-0,0005405	-0,0006176
	0,00132353	0,0011624	0,00106956	0,0008359	0,00064283	0,00052027	0,00043175	0,00033328	0,00026791	0,0001761	-8,012E-05
	0,00123769	0,00111838	0,00103741	0,0008195	0,00066155	0,00047653	0,00025834	-8,04E-05	-0,0003537	-0,0006631	-0,0008988
	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
	-0,0021323	-0,0026635	-0,0030396	-0,0030833	-0,0029632	-0,0028534	-0,0028276	-0,002718	-0,0026425	-0,0023514	-0,0021932
	-0,001215	-0,0016072	-0,0020516	-0,0023394	-0,002695	-0,0030766	-0,0033619	-0,003631	-0,0037335	-0,0036475	-0,0037325
	-0,0006429	-0,0003782	-0,0001645	7,0772E-05	0,00012985	0,00021006	0,00017676	0,0001442	2,6736E-06	-0,0002951	-0,0004353
	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255
	-0,0001571	-0,0001048	-8,181E-05	1,7813E-05	-4,936E-05	-8,405E-05	-0,0003308	-0,0011088	-0,0024017	-0,0040929	-0,0058822
	-0,0001353	-0,0001189	-0,0001201	-0,0001421	-0,0001678	-0,0001882	-0,0002122	-0,0002576	-0,0003439	-0,0009363	-0,0025713
	-6,149E-05	-5,884E-05	-5,626E-05	-5,379E-05	-5,576E-05	-5,49E-05	-5,09E-05	-4,886E-05	-5,046E-05	-4,751E-05	-0,000783

5. ZAKLJUČAK

Fotografija se kao umjetnička vještina uvijek razvijala što vjernije prikazati scenu koju fotograf snima, tj. doživljava. Smjer prema fotografiji širokog dinamičkog raspona se već počeo javljati sredinom devetnaestog stoljeća, a dolaskom digitalnog doba je doživio ubrzani napredak razvojem senzora digitalnih fotoaparata, računalnih programa i dostupnosti znanja potrebnim za samo fotografiranje, kao i korištenje fotografske opreme.

Snimanje digitalnim fotografskim aparatom u JPEG formatu rezultira bitno užim dinamičkim rasponom fotografske slike od dinamičkog raspona scene. Iako je tehnikama HDR fotografije moguće zabilježiti ukupni dinamički raspon scene, kod pojedinih je motiva to nemoguće pa i nepotrebno. Dinamički raspon digitalnog fotografskog aparata je određen senzorom fotografskog aparata i bitno je veći od 8 bitnog zapisa po kanalu koji se dobiva snimanjem u JPEG formatu, a da bi se zabilježio, potrebno je snimati u sirovom formatu zapisa.

S obzirom da sirovi format može sadržavati i informacije o tonovima koji su izvan raspona tonova JPEG zapisa, može se definirati da, uz informacije o korektno snimljenoj, sadrži i informacije o podeksponiranoj i preekspoziranoj fotografskoj slici te da se umjesto klasičnom predobradom i konverzijom u reproducibilni JPEG zapis, može biti konvertiran i tonskim mapiranjem u softveru za HDR fotografiju. Korištenje jednog RAW zapisa kao temelj za pseudo fotografiju nameće se kao rješenje za fotografiranje dinamične scene i situacije kada fotograf nije u mogućnosti snimati više ekspozicija, a često to nije niti potrebno.

U eksperimentalnom su dijelu ovog rada snimljene fotografije fotografskim aparatom koji omogućuje 14 bitni zapis tonova po kanalu. Fotografije su snimljene u JPEG i RAW formatu što znači da je snimanjem u sirovom formatu dobiveno 262 puta više boja nego snimanjem u JPEG formatu.

Za konverziju tako dobivenih fotografija se koristilo tonsko mapiranje te su prikazani reprezentativni rezultati dobiveni s dva softvera uz nekoliko različitih varijanti mapiranja za svaki program. Vizualna usporedba dobivenih

fotografskih slika pokazuje da na rezultate tonskog mapiranja sirovog u JPEG zapis utječe i odabir softvera i varijante mapiranja. Općenito, fotografske slike dobivene mapiranjem tonova softverom MATRIX PRO karakteriziraju zasićene boje i bogatstvo srednjih tonova, a ovisno o varijanti mapiranja, dobivene slike djeluju više nadrealno ili realističnije što potvrđuje i vizualna usporedba odgovarajućih histograma (slika 50). Zasićenje boja je općenito nešto manje kod fotografskih slika dobivenih korištenjem programa AURORA, a na rezultat je bitno utjecao odabir varijante mapiranja, pogotovo u prikazu srednjih tonova (slika 51).

Kako bi se omogućila kvantitativna usporedba histograma i općenito pojednostavio proces usporedbe, korišten je softver koji analizira slikovne datoteke u RGB sustavu boja te na temelju dobivenih podataka JPEG datoteke generira histogram koji prikazuje odnos različitih vrijednosti RGB kanala. Analiziranjem dvije slikovne datoteke program generira njihove histograme razlike. Tako dobiveni histogrami su pohranjeni u slikovnoj datoteci, a brojčane se vrijednosti histograma nalaze u tablici unutar tekstualne datoteke. Test softvera na promatranim generiranim fotografskim slikama u usporedbi s izvorno snimljenim JPEG zapisima potvrđuje mogućnost njegovog korištenja za usporedbu fotografskih slika s ciljem traženja i kvantifikacije, sličnosti, razlika ili degradacije kvalitete prijenosa informacije kroz fotografsku sliku.

6. LITERATURA

1. Mikota, M. Kulčar, R., Jecić, Z., Digitalno snimanje u području primijenjene i umjetničke fotografije, 9. Međunarodno savjetovanje tiskarstva, dizajna i grafičkih komunikacija Blaž Baromić – Zbornik radova. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet, 79-86 (2005).
2. Mikota, M., HDR fotografija – novi izazovi u realizaciji i reprodukciji fotografske slike. 15. međunarodna konferencija tiskarstva, dizajna i grafičkih komunikacija Blaž Baromić – Zbornik radova. Zagreb: Hrvatsko društvo grafičara, 88-98 (2011).
3. Mikota, M., Matijević, M., Pavlović, I. Realizacija HDR fotografije bubble jet ispisom na optimalnoj podlozi za ispis, Tehnički glasnik 7 (2013), 3, 252-257
4. Auto Exposure Bracketing by Camera Model, hdr-photography.com/aeb.html, Pristupljeno: 1.07.2016.
5. <http://en.wikipedia.org/wiki/JPEG> ; JPEG, 3.07.2016
6. http://en.wikipedia.org/wiki/Raw_image_format; Raw image format, 3.07.2016
7. <http://www.nikonusa.com/en/Learn-And-xplore/Article/ftlzi4ri/nikon-electronic-format-nef.html>; Nikon Electronic Format (NEF), 5.07.2016.
8. Ang T. (2013): Digital Photography Masterclass, DK ADULT; Reprint edition (5.07.2016)
9. <http://www.kenrockwell.com/tech/raw.htm>; JPG vs Raw: Get it Right the First Time, 5.07.2016
10. <http://www.slrlounge.com/school/raw-vs-jpeg-jpg-the-ultimate-visual-guide/>; RAW vs JPEG – The Ultimate Visual Guide , 6.07.2016.
11. Vincent Bockaert, "The 123 of digital imaging Interactive Learning Suite", verzija 4.0, interaktivna e-knjiga, 2007., 10.7.2016
12. Understanding Dynamic Range in Digital Photography, dostupno na: <http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/dynamic-range.htm>, 11.7.2016
13. <http://fotografija.hr/iso-osjetljivost/> ; ISO osjetljivost, 11.7.2016
14. Ferrel McCollough, Complete guide to High Dynamic Range photography, Lark Books, a division of Sterling Publishing Co., New York, 2008.,

15. <http://www.photoshopessentials.com/photo-editing/camera-raw-vs-photoshop/> ; Camera Raw vs Photoshop, 10.7.2016
16. The Digital Photography Book Volume 3, Scott Kelby, Peachpit Press, New York, 2010., 16.7.2016
17. <https://aurorahdr.com/>
18. https://www.learn.usa.canon.com/resources/articles/2012/understanding_histograms.html ; Understanding histograms, 16.7.2016
19. The Digital Photographer's Software Guide, John Lewell, Course Tehnology, Boston, 2009.,
20. Mikota, M., Komesar, I., Komesar, M., Usporedba izlaznih histograma JPEG zapisa fotografske slike dobivenih tonskim mapiranjem RAW zapisa. Zbornik radova - Međunarodna konferencija MATRIB 2016, Zagreb; Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, 230 - 241 (2016)